



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

VYUŽITÍ NETRADIČNÍCH MATERIÁLŮ VE STAVBĚ SVISLÝCH SOUSTRUHŮ

UTILISATION OF INNOVATIVE MATERIALS AT DESIGN OF VERTICAL LATHES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. PETR AUGUSTIN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. JIŘÍ MAREK, DR.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Augustin

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití netradičních materiálů ve stavbě svislých soustruhů

v anglickém jazyce:

Utilisation of innovative materials at design of vertical lathes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte možnosti využití netradičních materiálů ve stavbě svislých soustruhů z produkce TOSHULIN, a.s. Jedná se zejména o použití takových materiálů jako jsou částicové a vláknové kompozity, keramické, plastové a hybridní materiály.

Nahrazované prvky musí vykazovat lepší technicko ekonomické vlastnosti jako jejich současné litinové, nebo ocelové provedení zejména pokud se týká dodací lhůty a ceny.

Náhradu proveďte pro stroje řady POWERTURN.

Cíle diplomové práce:

Vypracujte:

1. Technickou zprávu
2. Popis současného stavu
3. Rozbor a popis vlivů které působí na svislý soustruh
4. Rešerši netradičních materiálů
5. Metodiku návrhu náhrady ocelových a litinových materiálů
6. Nejméně tři ideové návrhy možné náhrady a výběr optimální varianty na základě technicko ekonomického hodnocení
7. Sestavní výkres vybrané náhrady
8. Detailní výrobní výkres vybraného prvku

Seznam odborné literatury:

[1] firemní literatura TOSHULIN,a.s.

[2] Breník,P.,Píč,J. Obráběcí stroje – konstrukce a výpočty. TP 59, Praha 1982, SNTL, s.573.

[3] Marek, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů, speciální vydání MMPublishing, Praha 2006, s.282, ISSN 1212-2572

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jiří Marek, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Vymezenou problémovou oblastí diplomové práce je nahrazení součástí z tradičních materiálu materiálem netradičním. TOSHULIN a.s. se sídlem v Hulíně, s výrobou svislých soustruhů. Cílem práce je teoreticko-praktické zpracování dané problematiky. Zvážení všech kladů a záporů s následným zhodnocením.

Daného nahrazení.

Klíčová slova:

kompozity, náhrada, soustruh

Abstract:

In my thesis, I have chosen to concentrate on the replacement of traditional materials by more unconventional ones. My aim is thus to pay attention to theoretical and practical implications that such replacement would induce and to evaluate the pros and cons of such practice. I am going to focus on the Hulin-located company TOSHULIN which produces vertical lathes.

Klíčová slova - anglicky:

composites, replacement, lathe

Bibliografická citace:

AUGUSTIN, P. Využití netradičních materiálů ve stavbě svislých soustruhů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 51 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Marek, Dr..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci Využití netradičních materiálů ve stavbě svislých soustruhů vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiří Marek, Dr a uvedl v ní všechny použité literární a jiné odborné zdroje v souladu s právními předpisy, vnitřními předpisy a vnitřními akty řízení Vysokého učení technického.

V Brně dne 26.5.2011

.....
Vlastnoruční podpis autora

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Markovi, Dr. za jeho cenné rady, připomínky a nápady, kterými přispěl k vypracování mé diplomové práce. Dále děkuji Ing. Lubomíru Novotnému, Ph.D. a panu Robinu Poulovi z firmy CompoTech za připomínky a pomoc při konstrukci.

Obsah

1. Úvod.....	13
1.1 Popis zadání.....	13
1.2 Firma TOSHULIN.....	13
1.3 Výrobní programy.....	13
2. Kompozity.....	14
2.1 Rozdělení kompozitů.....	15
MMCs – s kovovou matricí.....	15
PMCs – s polymerní matricí.....	16
CMCs – s keramickou matricí.....	17
Kompozity s hybridní strukturou.....	17
2.2 Vlastnosti kompozitních materiálů.....	19
3. Materiály vhodné ke konstrukci.....	21
3.1 Kovové pěny.....	21
3.2 Odlitek z šedé litiny plněné pískem.....	22
3.3 Přírodní žula	22
3.4 Polymerní beton.....	23
3.5 Cementový ultra vysokopevnostní beton.....	23
3.6 Keramika na bázi Al – Si.....	24
3.7 Epoxidové pryskyřice s uhlíkovými vlákny.....	24
4. Vlivy působící na obráběcí stroj.....	27
4.1 Teplo.....	27
4.2 Kmitání.....	29
5. Svislé soustruhy.....	31
5.1 Základní charakteristika.....	31
6. Částí strojů a analýza zatížení různých částí stroje	32
6.1 Rám soustruhu.....	32
6.2 Lože a stojany(sloupy) karuselu.....	32
6.3 Příčnick soustruhu.....	33
6.4 Rotační stůl a náhoný hřídel.....	36
6.5 Zásobník nástrojů.....	38
6.6 Ochranné kryty.....	38
7. Srovnání konstrukce tradičních a netradičních materiálů.....	39
8. Praktický příklad.....	43
8.1 Zadání.....	43
8.2 Vlastnosti ocelové hřídele.....	43
8.3 Srovnání ocelové a uhlíkové hřídele.....	44
9. Technická zpráva.....	47
9.1 Orientace vláken.....	47
9.2 Problematika přechodu uhlík – ocel.....	48
9.3 Technologie výroby.....	50
10. Stanovení ceny náhrady.....	52
11. Doba dodávky.....	53
12. Závěr.....	53
13. Použitá literatura.....	55
14. Přílohy.....	57

1. Úvod

1.1 Popis zadání

Již podle názvu je zřejmé, že tato práce se bude zabývat konstrukčními řešeními, a to za aplikace netradičních materiálů. Na počátku se budu zabývat výčtem rozličných druhů materiálu. Tato rešerše má ukázat na výhody nebo naopak na nevýhody těchto materiálů, již ať z ekonomického, mechanického či jiného hlediska. Po rešerši přejdu do praktické části, kde uvedu aspekty ovlivňující obráběcí stroj. Poté provedu náhradu některé součásti. Součást bude ze svislého soustruhu firmy TOSHULIN, jimiž byla tato diplomová práce zadána. Náhrada bude provedena na stroji z řady POWERTURN.

1.2 Firma TOSHULIN



Tato strojírenská firma byla založena již v roce 1949 ve městě Hulíně. Firma prošla mnoha a mnoha stádii rozvoje strojírenské výroby. V roce 1951 bylo rozhodnuto, že výroba bude zaměřena na konstrukci svislých soustruhů. Již v roce 1959 byl na základě vlastní dokumentace zkonstruován první NC karusel s pravoúhlým řízením. V roce 1974 započala výroba soustruhů s automatickou výměnou nástrojů.

Za dobu svého působení této firmy na trhu bylo dodáno 13000 obráběcích strojů do 58 zemí světa. I nadále je firma odhodlána dále se rozvíjet a spolupracovat se zahraničními zákazníky, přičemž bude dodávat kvalitní stroje pracující až desítky let.

1.3 Výrobní programy

Svislé soustruhy ve firmě TOSHULIN jsou dodávány v mnoha řadách: REV, SKIQ, SKA, POWERTURN, SKAT, SKL, POWERTURN Y. Obrábět je možné od průměru 1250 do 4000mm.



obr.1: obráběcí stroj typu Ska [1]



obr.2: obráběcí stroj typu Powerturn Y [1]

2. Kompozity

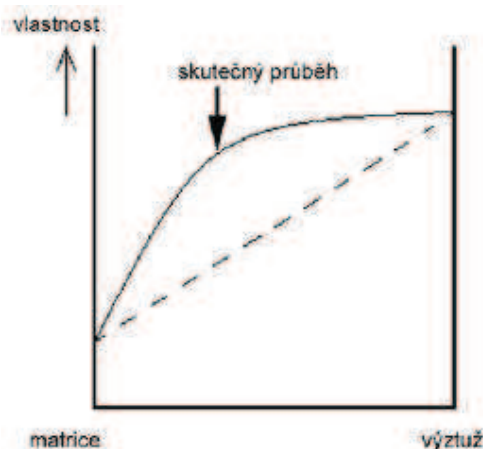
Pod pojmem kompozit rozumíme heterogenní materiál složený ze dvou nebo více fází. Tyto fáze se navzájem liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Charakteristickým typem výroby je mechanické mísení jednotlivých složek. Tímto způsobem se liší od slitin, které jsou také heterogenní. A však u slitin jednotlivé fáze vznikají při fázových změnách vyvolanými tuhnutím.

Obvyklé složení kompozitu je takové, že jedna z fází je spojitá. Tuto fázi nazýváme matrice. A druhá z fází je nespojitá, tato fáze se potom nazývá výztuž. Když porovnáme vlastnosti matrice a výztuže, tak má výztuž obvykle oproti matici lepší mechanické vlastnosti (např. modul pružnosti, tvrdost, pevnost...). Tedy účel výztuže je jasný - zlepšení mechanických vlastností kompozitu.

Závislost mechanických vlastností kompozitu záleží na mnoha faktorech. Jedny z nejdůležitějších jsou : délka vláken výztuže, podíl výztuže v kompozitu a jeho uspořádání, již zmíněné mechanické vlastnosti matrice a výztuže, i nezanedbatelná soudržnost těchto dvou fází.

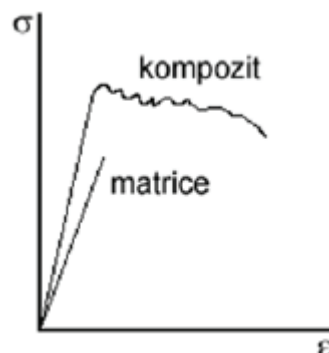
Pro kompozitní materiály je typická tzv. synergie. Tato vlastnost znamená, že vlastnosti výsledného kompozitu jsou lepší než vlastnosti, které by odpovídaly pouhému poměrnému sečtení jednotlivých vlastností jeho složek(fází). [2]

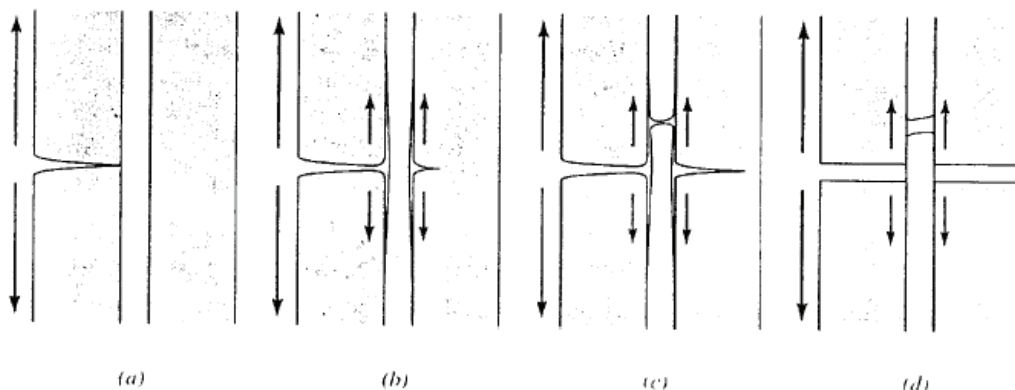
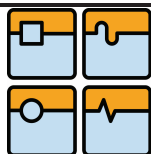
obr.3: Chování kompozitního materiálu a ukázka synergie[2]



Další velmi výhodnou vlastností kompozitu vyvozených ze synergických vlastností je odolnost vůči křehkému porušení. V grafu jsou porovnány tahové diagramy křehké matrice a stejné matrice vyztužené křehkými vlákny (viz obr. 3). Toto můžeme vysvětlit tím, že šířící se trhlinka je bržděna na rozhraní matrice a vláken. Dochází tu k odklonění směru trhliny, a také k intenzivnímu tření mezi maticí a v ní vloženými vlákny, které jsou z ní vytahovány. Toto je bohatě využíváno u povlakování obráběcích nástrojů.

obr.4: Tahový diagram samotné matrice a matrice vyztužené křehkými vlákny[2] ->

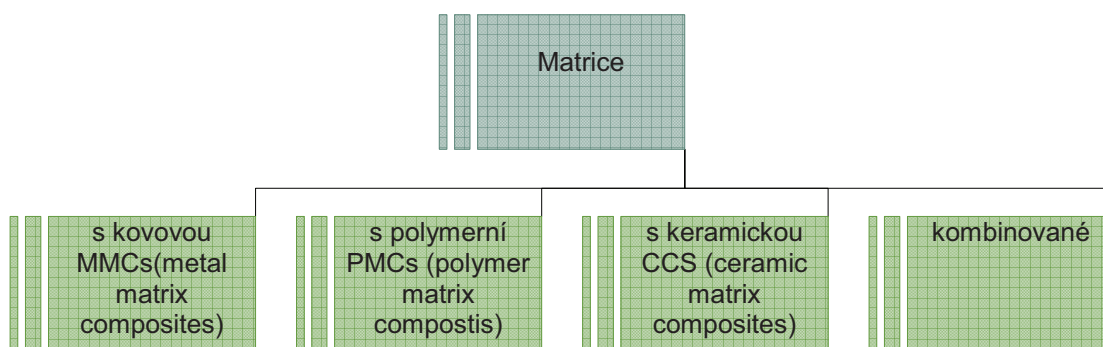




obr.5: Tření mezi vlákny a matricí: a) iniciovaná trhлина; b) odklonění trhliny po směru vlákna; c) přetržení vlákna a další šíření trhliny; d) tření mezi vláknem a matricí [12]

2.1 Rozdělení kompozitů:

a) Podle druhu matrice



> MMCs – s kovovou matricí

- Nejvýznamnější druhy matric jsou matrice
 - hliníkové (slévárství (Al-Si), tvářeni (Al-Cu-Mg))
 - titanová a jeho slitiny
 - slitiny niklu

tab.1.1 Vlastnosti kovových matric [4]

Matrice		Měrná hmotnost ρ [kg . m ⁻³]	Pevnost v tahu Rm [GPa]	Modul pružnosti V tahu E [GPa]
báze	slitina			
Al	AlCu ₄ Mg	2770	0,490	70
	AlMgSi	2700	0,320	70
Mg	MgZn ₆ Zr	1800	0,345	45
Ti	TiAl ₆ V ₄	4430	0,910	112
Ni	superslitiny	8300	1,500	192

>**PMCs – s polymerní matricí** – (termoplasty, reaktoplasty, elastomery)
 -oproti kovům jsou výrazně lehčí, mají dobré tlumící vlastnosti, nízká teplotní vodivost, korozivzdornost...

tab.1.2 Vlastnosti plastové matrice (termoplasty) [4]

Matrice		Měrná hmotnost ρ [kg .m ⁻³]	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Modul pružnosti V tahu E [MPa]
Termoplasty	Zkratka			
Polyamid 6	PA6	1130	70-85	1200-1400
Polyamid 66	PA66	1140	77-84	1600-2000
Polykarbonát	PC	1200	56-72	2000-2400
Polyesterbeton	PEEK	1320	70-103	2250
Polyamid	PI	1420	75-95	3200

tab.1.3 Vlastnosti plastové matrice (reaktoplasty) [4]

Matrice		Měrná hmotnost ρ [kg .m ⁻³]	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Modul pružnosti V tahu E [MPa]
Reaktoplasty	Zkratka			
Polyamidová pryskyřice	PI	1420	80	3000
Fenolformaldehydová pryskyřice	PF	1127	40-60	3500-4200
Melaminoformaldehydová pryskyřice	MF	1500	45-65	7000-9000

Termoplasty jsou vesměs chemicky odolnější a houževnatější než reaktoplasty. Mají dlouhé molekuly oproti reaktoplastům, které mají molekuly kratší. Vystavíme-li je větší teplotě, tak měknou. Jmenovitě lze uvést nylon, polypropylen, polyethylen.

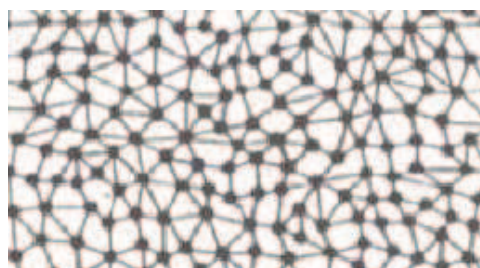
Zatímco jsou termoplasty vytvrzovány pouze teplotou, reaktoplasty, jak je již poznat z názvu, je třeba vytvrdit pomocí reakce. Reaguje katalyzátor a iniciátor. Konzistence reaktoplastu před vytvrzením je podobná řidkému medu. Po vytvrzení už nelze upravovat.

Mezi reaktoplasty patří:

- epoxidy(EP)
- polyestery(UP)
- vinylestery(VE)



obr.6: Mikrostruktura termoplastu [3]



obr.7: Mikrostruktura reaktoplastu [3]

>CMCs – s keramickou maticí – odolnost proti oteplení, vysoká tvrdost a pevnost v tlaku, vysoká teplota tání, chemická odolnost, křehké, náchylné na vnitřní defekt.

tab.1.4 Vlastnosti keramických matic [4]

Matrice		Měrná hmotnost ρ [kg .m ⁻³]	Pevnost			Modul pružnosti V tahu E [MPa]
Název	Chem. značka		V tahu [MPa]	V tlaku [MPa]	V ohybu [MPa]	
Oxid hliníku	Al ₂ O ₃	3300-4000	200	350-2000	280-400	350-420
Nitrid křemíku	Si ₃ N ₄	2500-3300	100-900	3000	220-850	160-300
Grafit	C	2200	70-140	200-600	41,5	690

>Kompozity s hybridní strukturou

Vyztužující vlákna

Přírodní vlákna – Základem těchto vláken je celulóza. Levné

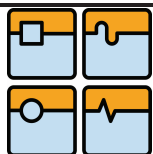
tab.1.5 Vlastnosti přírodních vláken [5]

Vlákno	Hustota ρ [kg .cm ⁻³]	Mezní prodloužení [%]	Pevnost v tahu [GPa]	Modul pružnosti E [GPa]
Konopí	1,52	1,7	0,46	70
Len	1,52	1,8	0,84	100
Bavlna	1,52	6-12	0,2-0,8	27

Skelná vlákna - vysoká pevnost, nízký modul pružnosti, čím menší průřez tím větší pevnost, nízká odolnost proti únavě, nízká tepelná vodivost a roztažnost

tab.1.6 Vlastnosti skelných vláken [4]

Vlákno	Vlastnosti		
	Měrná hmotnost ρ [kg. m ⁻³]	Pevnost v tahu Rm [GPa]	Modul pružnosti v tahu E [GPa]
A – sklo	2500	3,2	70
E - sklo	2540	3,4	72
S - sklo	2480	4,8	85

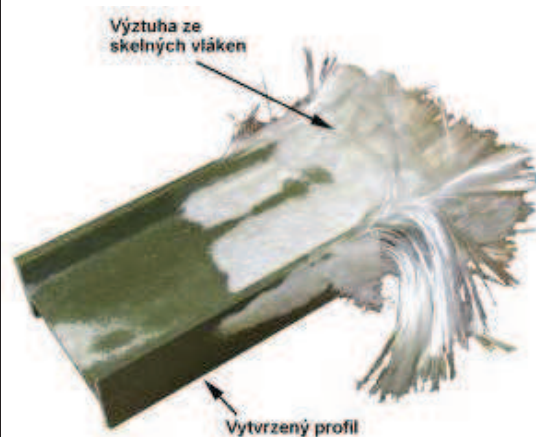


DIPLOMOVÁ PRÁCE

Whiskery – jedná se o monokrystaly s průměrem vláken okolo 1 μ m a délce 3-4mm

tab.1.7 Vlastnosti přírodních vláken [4]

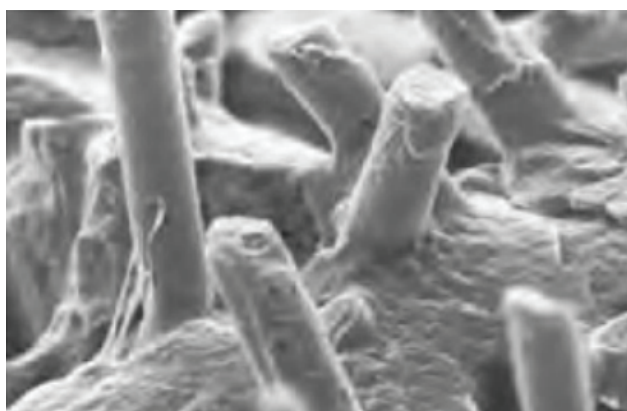
whisker		Měrná hmotnost $\rho[\text{g.cm}^3]$	Pevnost v tahu $R_m[\text{GPa}]$	Modul pružnosti v tahu [Gpa]
keramika	Al_2O_3	4000	15	470
	SiC	3200	21	720
	BeO	3000	7	380
kovové	Cr	7400	9	240
	Ni	9000	4	213
	Fe	7800	13	200



obr.8: Polotovár kompozitu [6]

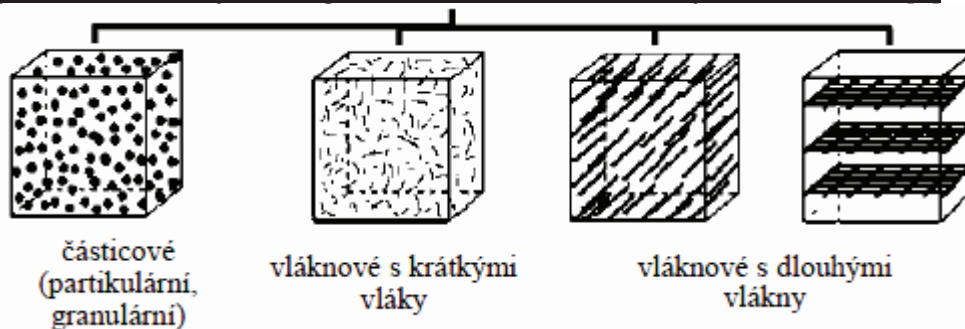


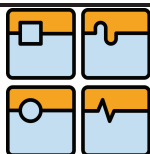
obr.9: Uhlíkový kompozit [6]



obr.10: Mikrostruktura kompozitu, viditelná vlákna vystupující z matrice [3]

b) Podle struktury nebo geometrické charakteristiky vložené fáze [5]

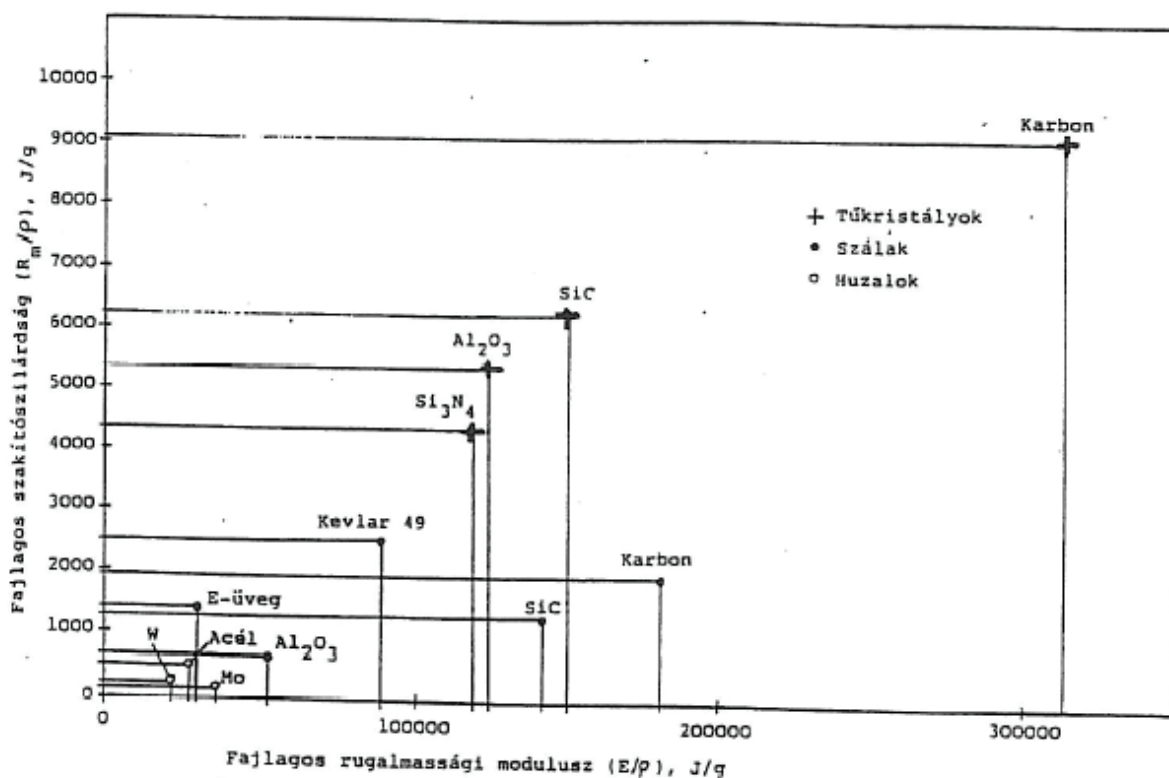




2.2 Vlastnosti kompozitních materiálů

Faktory ovlivňující vlastnosti kompozitu

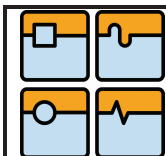
- **Vlastnosti jednotlivých fází** – mechanické vlastnosti a poměr mezi nimi (tj. Poissonův součinitel, modul pružnosti, mezní přetvoření, pracovní diagram)
- **Geometrické uspořádání, objemové zastoupení fází a jejich geometrický tvar** – množství prvků, jejich hustota a uspořádání v matrici. Jsou-li tvary částic a rozměry stejné ve všech směrech a je-li rozložení v matrici homogenní, tak je potom kompozit velmi podobný izotropnímu materiálu.
- **Vlastnost styku a interakce jednotlivých fází** – Možnosti přenosu zatížení mezi matricí a výztuží a také opačná interakce. Jedná se především o kohezi těchto dvou fází.
- **Interakce s okolím** – Tato vlastnost záleží na všech předešlých



obr.11: Materiál vláken [12]

Y osa – měrná pevnost v tahu (R_m/p)

X osa - měrný modul pružnosti (E/p)

*tab.1.8: Ohybová pevnost a lomová houževnatost některých vláknových materiálů [12]*

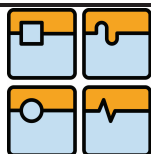
Material	Flexural Strength (MPa)	Fracture Toughness (MPa · m ^{1/2})
Al ₂ O ₃	550	5.5
Al ₂ O ₃ /SiC	790	8.8
SiC	495	4.4
SiC/SiC	756	25.3
ZrO ₂	206	5.5
ZrO ₂ /SiC	446	22
Si ₃ N ₄	467	4.4
Si ₃ N ₄ /SiC	790	56.1
Glass	62	1.1
Glass/SiC	825	18.7
Glass ceramic	206	8.2
Glass ceramic/SiC	825	17.6

Objemové množství vláken významně ovlivňuje chování kompozitu a jeho vlastnosti. Čím více vláken kompozit obsahuje, tím více vzrůstá i jeho pevnost a tuhost. Maximálně však by měl obsahovat 80%. Je to dáno tím, že jednotlivá vlákna musí být vzájemně oddělena materiálem matrice.

Další vlastností, která významně zasahuje do vlastností kompozitu, je fázové rozhraní. Přenos napětí se realizuje právě přes něj. Respektive přenáší se tím napětí z matrice do vláken. Je tím prověřena adheze (přilnavost) mezi těmito fázemi. Speciálním případem je napětí přímo na povrchu. Jak dobře víme, trhлина se inicializuje na povrchu a šíří se směrem dovnitř. Pokud ovšem na povrchu zůstane zbytkové tlakové napětí, může se šíření trhliny zpomalit či úplně zastavit. Naopak když na povrchu působí tahová napětí, šíření trhliny se nezastaví nebo ještě hůře - zrychlí se. Tyto napětí jsou v materiálu již od jeho výrobního procesu.

Výhody vláknových kompozitů:

- snadná montáž
- el. nevodivost
- (nízká teplotní vodivost)
- nízká měrná hmotnost
- korozivzdornost
- poměrně dobré mechanické vlastnosti
- flexibilita tvaru
- rozměrová stálost
- minimální údržba



3. Materiály vhodné ke konstrukci

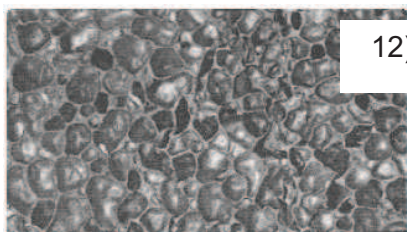
3.1 Kovové pěny

Struktura: otevřené vs. uzavřené cely – jejich tvar a velikost ovlivňují mechanické vlastnosti. Při konstrukci se nejčastěji užívají pěny s uzavřenými celami.

Jejich použitím se docílí zvýšení hodnoty tuhosti či tlumení vlastního kmitání. Dalšími vlastnostmi jsou vynikající tepelné a zvukové izolátory. Při tak malé hustotě materiálu má obstojné vlastnosti. Tato pěna je tvořena cca z 60% póry.

Nevýhody:

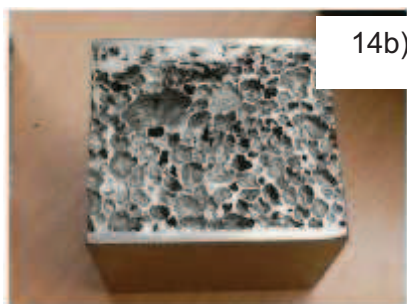
- vyšší náklady na vývoj než užití řešení s konvenčními materiály
- komplikovanost řešení výpočtu (mat. vlastnosti).
- nestandardní výroba dílců...



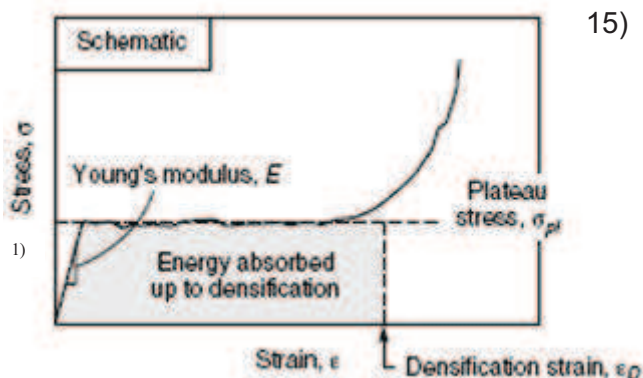
12)



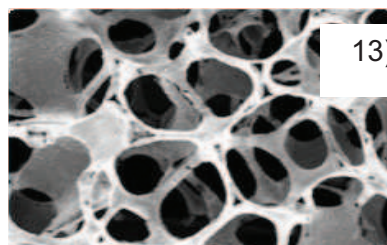
14a)



14b)



15)



13)

obr.12: Hliníková pěna s uzavřenými celami[12]

obr.13: Hliníková pěna s otevřenými celami[12]

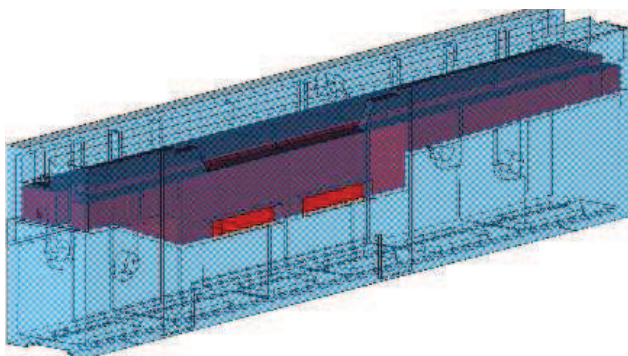
obr. 14: Sendvičové profily plněné hliníkovou pěnou[11]

obr.15: Graf absorpce energie[12]

Na povrchu tvrdé a uvnitř vyztuženo Al pěnou. Není třeba žebrovaní. Buď uzavřený profil [14a] nebo sendvičové desky [14b].

3.2 Odlitek z šedé litiny vyplněný pískem

I takovéto řešení se bere jako netradiční. Litina s pískem uvnitř konstrukce má odlišné vlastnosti. Jádro odlitku se po vychladnutí smršťuje a písek uvnitř je uzavřen. Dochází k jeho kompresi. Ač má odlitek potom vyšší hmotnost, zároveň získá i schopnost tlumit efektivněji chvění.



obr:16: Vyplnění dutiny lože brusky [11]



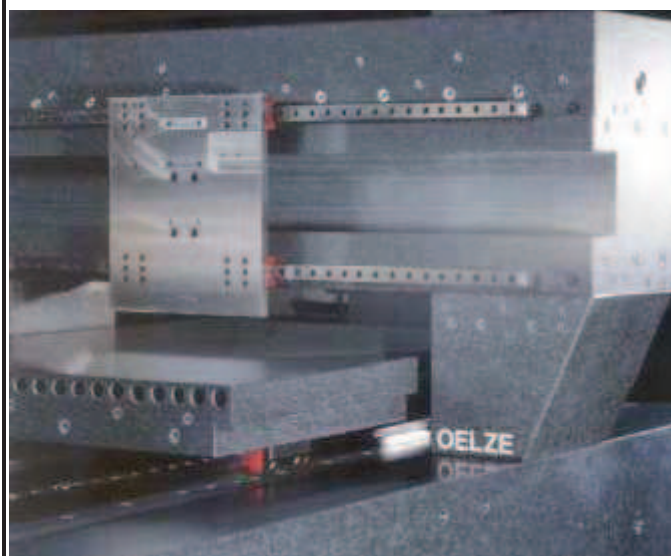
obr:17: Plnění dutiny lože brusky [11]

3.3 Přírodní žula

Je materiálem užívaným pro velmi přesné stroje. Tento materiál se vyznačuje skvělou rozměrovou stálostí a poměrně dobrým materiálovým tlumením přibližně stejným jako u litiny. Ve struktuře se nevyskytují vnitřní pnutí.

Nevýhody:

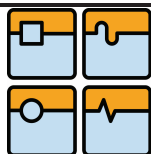
- náročná a tím pádem i nákladná výroba přesných dílů
- téměř nemožné provádět dodatečné operace



obr:18: Portálové vertikální centrum pro mikrofrézování [11]



obr:19: Základní portálový rám [11]



3.4 Polymerní beton

Je ekonomicky výhodným materiálem pro větší série strojů. Tlumení tohoto materiálu je na úrovni šedé litiny. Vyskytuje se zde možnost aplikovat do dílců rozvody. Jedná se o dvousložkový kompozit, který se skládá z plniva a pojiva. Materiál je používán od 70. let 20. století. Mimo názvu polymerbeton se užívá



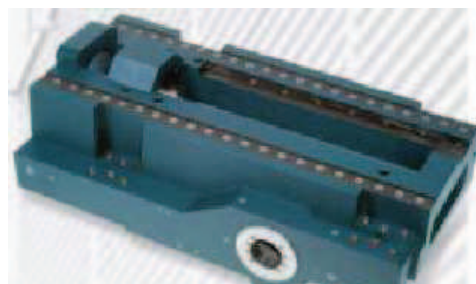
obr.20: Polymerbetonové lože [11]

ještě označení minerální kompozit, a to z důvodu, že plnivem je anorganická rozdrčená hornina. Nejvíce používaná plniva jsou: čedič, žula, křemen, slída a živec. Plnivo je směs polymeru, nejčastěji je ale používána dvousložková epoxidová pryskyřice.

Značným nedostatkem je nákladná výroba z důvodu potřebné tuhosti formy. Je zde stejný problém se spojováním jako u žuly. Trendem při výrobě polymerbetonového dílce je vyrábět ho tzv. na hotovo, jelikož se po dokončení dílec těžko obrábí.

Výhody tohoto materiálu[14]

- vysoká statická a dynamická pevnost
- vysoká schopnost tlumení
- nízká teplotní vodivost
- odolnost proti abrazivním a agresivním médiím
- možnost lepení dílů
- rozměrová stálost
- likvidace -> recyklace



obr.21: [11]

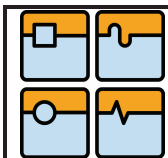
3.5 Cementový ultra vysokopevnostní beton



obr.22: [8]

Tento typ materiálu je klasický železobeton. Nejedná se ovšem o materiál, který se užívá na stavbách. Složení je zhruba takové: voda, cement, štěrk, příměsi proti smrštění a doplňková barviva. Pro lepší mechanické vlastnosti se do betonu ještě přidávají ocelové výztuhy, skelná, aramidová nebo uhlíková vlákna. Je zpracováván v páře, následuje řízené chladnutí materiálu. Touto úpravou beton uměle zestárne. Lze ho předepnout. Je zde možnost třískového obrábění polotovaru.

Zhruba poloviční tepelná kapacita jak u oceli. Odolnost vůči kmitání a vynikající rozměrová stálost. Kvůli masivní konstrukci mají dílce vysokou hmotnost. Má vynikající přilnavost k oceli.



3.6 Keramika na bázi Al – Si



Tento materiál má nízkou hodnotu tepelné roztažnosti (třetina až šestina hodnoty roztažnosti oceli). Zároveň má keramický materiál i nízkou tepelnou kapacitu. Velkou výhodou je možnost třískového obrábění polotovaru. Značnou nevýhodou je komplikované spojování dílců a vysoká cena.

obr.23: Nosný portál a suport laserového vyřezávacího stroje [11]

3.7 Epoxidové pryskyřice s uhlíkovými vlákny

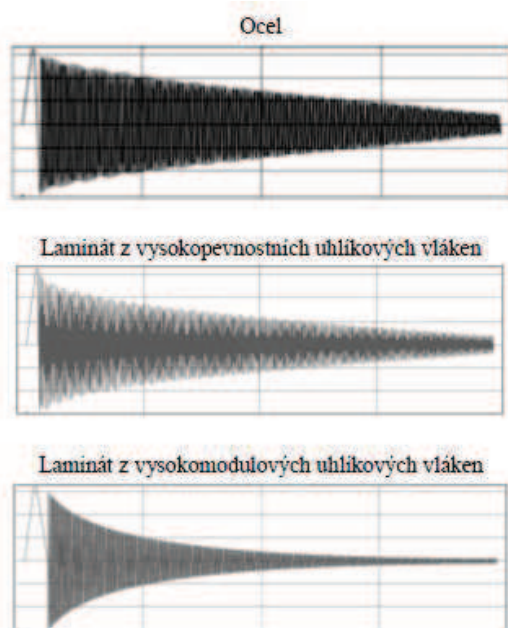
Díky orientaci vláken lze navrhnout díly o optimální tuhosti.

Výhody:

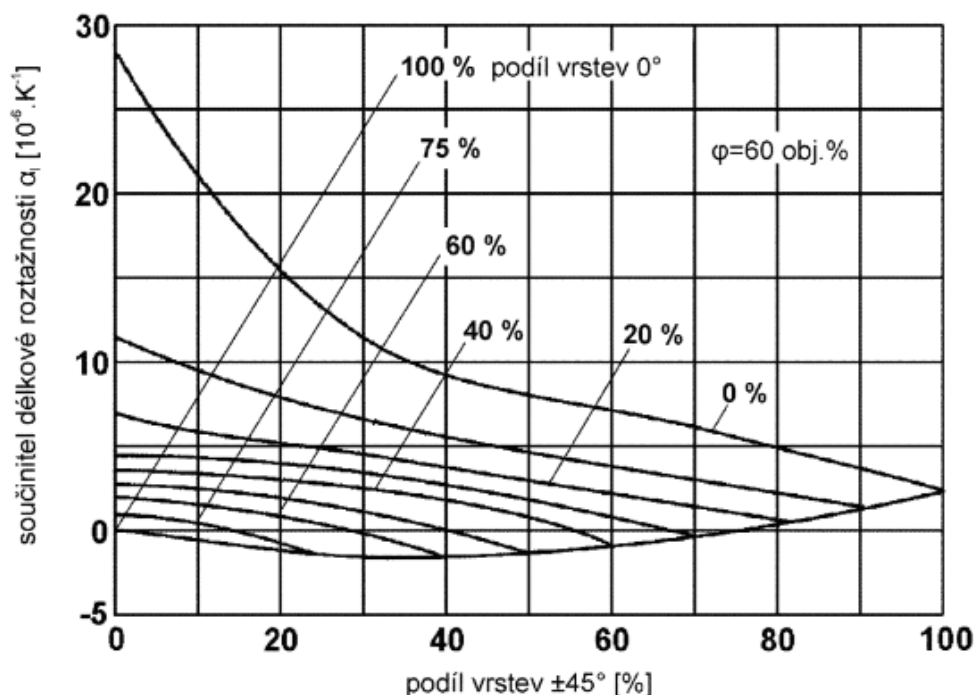
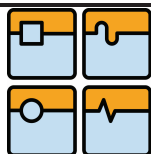
- poměrně dobrý modul pružnosti
- teplotní deformace jsou závislé nejenom na teplotní roztažnosti, ale i teplotní vodivosti a měrné tepelné kapacitě
- ve směru vláken je tepelná vodivost přibližně stejná jak u oceli ($0^\circ - 50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

Ale kolmo na vlákna je roztažnost menší. Tepelná kapacita uhlíkového

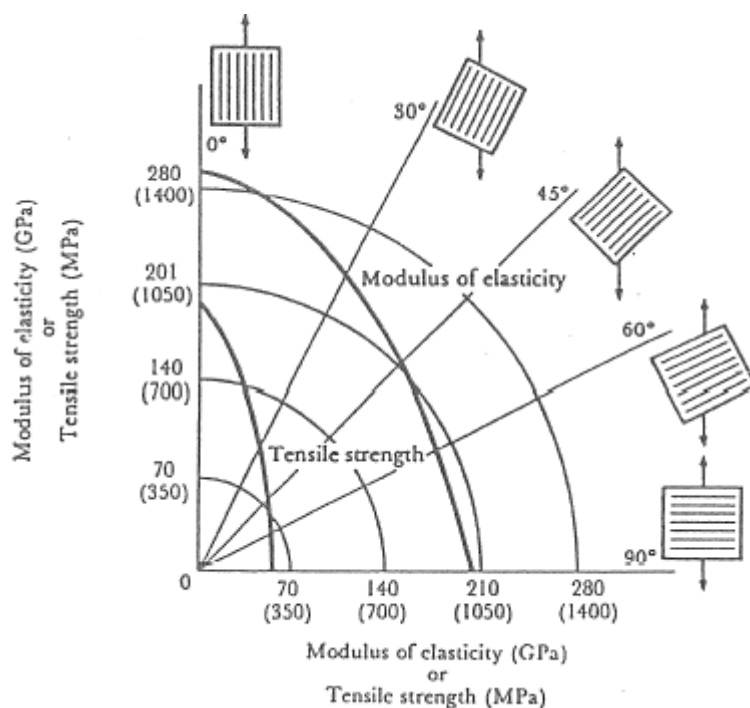
laminátu je přibližně stejná jak u hliníku ($1 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Velmi dobré materiálové tlumení jak je vidět na obrázku 24. Nákladná výroba a obtížné docílení dodatečné úpravy dílce. Schopnost posunutí vlastní frekvence do vyšší oblasti. Schopnost tlumit je závislá na modulu pružnosti v tahu. [15]



obr.24: Schopnost tlumení materiálu [11]

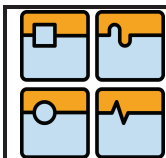


obr.25: Závislost součinitel. délkové roztažnosti na podílu vrstev kompozitu [11]



obr.26 : Orientace vláken a vliv na pevnost struktury[12]

Důležitým faktorem konstrukce je vhodná orientace vláken. Příhodným kombinováním vrstev lze dosáhnout velmi dobrých mechanických vlastností v namáhaných směrech. K tomuto se úzce vztahuje teplotní deformace součásti.



obr.27: Naháněcí hřídel vícevřetenového automatu firmy Tajmac [11]



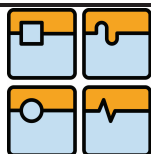
obr.28: Tiskařský válec firmy Kompotech [11]

V současném stavu snaha k uplatnění nekonvenčních materiálů při konstrukci svislých soustruhů mírně roste, ale nelze čekat v dalších několika letech rapidní nárůst v užívání těchto materiálů. Dominance konvenčních materiálů i nadále potrvá, ale zájem poroste především u hybridních materiálů. Hybridní materiály tvoří jen nezbytné minimum nekonvenčních materiálu kombinované s již tradičními materiály.

Materiál, o který by mohl být zájem, je laminát tvořený epoxidovou pryskyřicí s uhlíkovými vlákny. Jde především o jejich teplotní stálost a velmi dobré mechanické vlastnosti.

tab. 1.13: Tabulka materiálů a jejich vlastností [9]

		Měrná hmotnost [kg/m ³]	Modul pružnosti [GPa]	Měrný modul pružnosti [10 ⁶ .m ² /s ²]	Náklady a zpracovatelnost pro výrobní stroje
Tradiční	Šedá litina	7100-7300	88-140	12-20	★
	Tvárná litina	7040-7060	160-180	23-26	★ ★
	Svařence z oceli třídy 11	7850	190-210	26-27	★ ★
Nekonvenční	Al slitiny	2600-2800	70-79	25-30	★ ★ ★
	Přírodní žula	2600-3150	30-70	26-27	★ ★ ★
	Polymerní betony	1500-2600	40-50	15-33	★ ★ ★
	Vláknové kompozity na bázi uhlíkových vláken	1700-1980	100-580	54-341	★ ★ ★ ★ ★ ★
	Keramika na bázi Al a Si	3200-3500	270-300	77-94	★ ★ ★ ★ ★
	Hybridní struktury a materiály	1000-3500	70-210	20-210	★ ★ ★ ★



4. Vlivy působící na obráběcí stroj

Jedny z nejdůležitějších aspektů, které ovlivňují stroj je okolí na něj působící a samozřejmě děje, které se v samotném stroji odehrávají. Lepší náhled, co se ve stroji odehrává a co ho ovlivňuje, nám dává obrázek 29.

Vstupy

Vzduch
Materiál
El. energie
Olej
Řez. Kapalina
Teplo

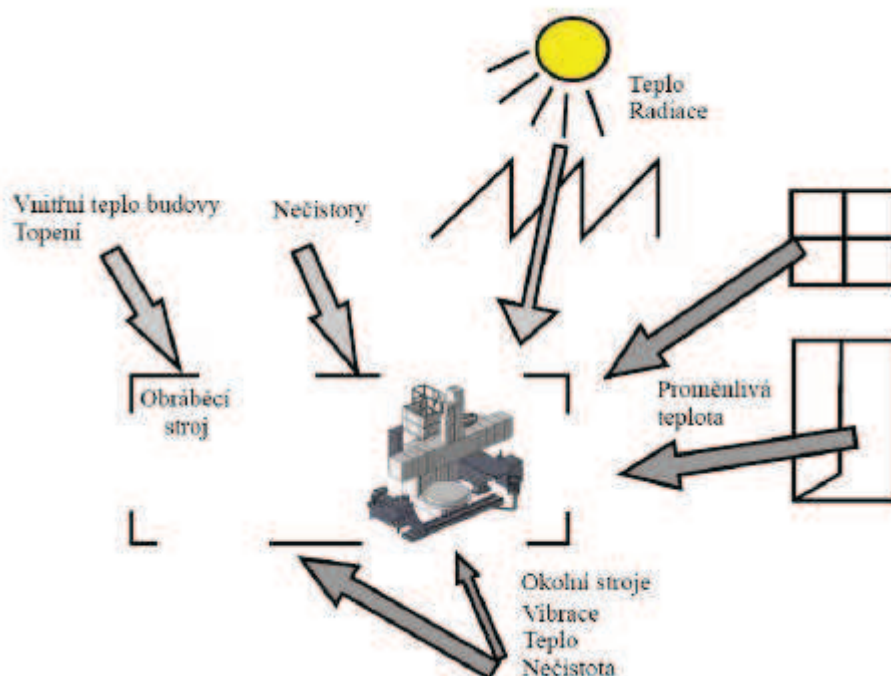


Výstupy

Zplodiny
Olejová mlha
Záření
Teplo
Třísky
Oleje
Řez. Kapalina
Obrobek

obr.29 : Obráběcí stroj [1]

4.1 Teplo



obr.30 : Teplotní vlivy ovlivňující obráběcí stroj [10]

Jak je patrné z obrázku 30, tak jedna z podstatných věcí, která nám ovlivňuje stroj, je teplo. Oteplování stroje je nežádoucí vliv u obráběcích strojů. Nepříznivě ovlivňuje přesnost a geometrii stroje při obrábění. Proto je důležité užívat při konstrukci stroje materiály, které teplota ovlivňuje jen málo.

Teplo ve stroji vzniká z mnoha příčin, ať už jde o teplo vznikající samotným provozem stroje, řezným procesem či jen působením okolí (změna klimatu léto, zima). Je nutné držet stroj v určitém rozmezí teplot z důvodu přesnosti. Můžeme si koupit obráběcí centrum, které obrábí s přesností na tisícinu milimetru, ale pokud nedokážeme zabránit teplotním výkyvům je to, jako bychom vyhodili vynaložené peníze oknem.

Zdroje vzniku tepla u obráběcích strojů

tab. 1.14 Zdroje tepla: [8]

Vnitřní zdroje tepla		Vnější zdroje tepla		
Pohony(ztráty)	Obráběcí proces	Teplota okolí	Tepelné záření	Pohyb vzduchu
Motory Ložiska Spojky Čerpadla Mazání Převody	Nástroj Obrobek Třísky Chlazení		Topná tělesa Slunce	

Druhy vedení tepla:

U vnějších zdrojů tepla se tak děje převážně radiací (zářením) a konvekcí (proudění). Naopak u vnitřních zdrojů se tak děje kondukcí (vedení).

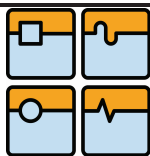
$$Q = \lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{d} \tau \quad 1.1$$

λ – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 S – plocha S [m^2]
 ΔT – rozdíl teplot [K]
 d – vzdálenost tepelného zdroje [m]
 τ – čas působení [s]

tab.1.15: Teplovní vodivost látek

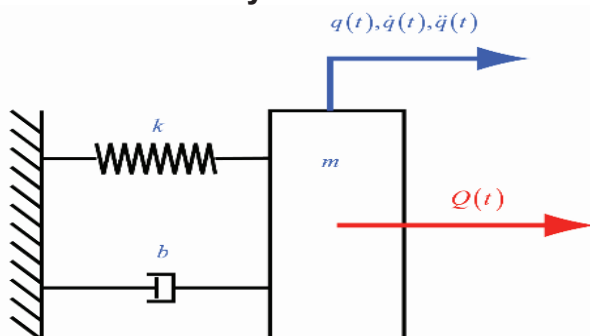
Látka	λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}$]
hliník	237
železo	80,2
žula	2,9 - 4,0
beton	1,5
ocel	20

Pokud se podíváme na vztah pro oteplení, tak je jednoznačně vidět, že máme několik způsobů, jak chránit stroj před oteplením. Jedním způsobem je užití řezné kapaliny a účinného chlazení, což zabrání oteplování stroje řezným procesem a provozem samotným. Ale zároveň by bylo dobré snížit spotřebu chladících kapalin užitím materiálu s odolností na oteplení. Došlo by tak k snížení energetické náročnosti, což by bylo jistě přínosem.

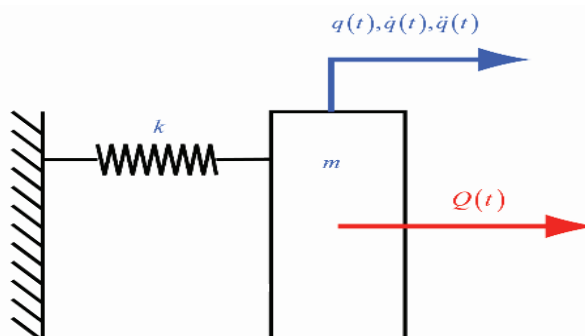


4.2 Kmitání obráběcího stroje

Základní druhy kmitání:



obr.31: Tlumené kmitání [7]



obr.32: Netlumené kmitání [7]

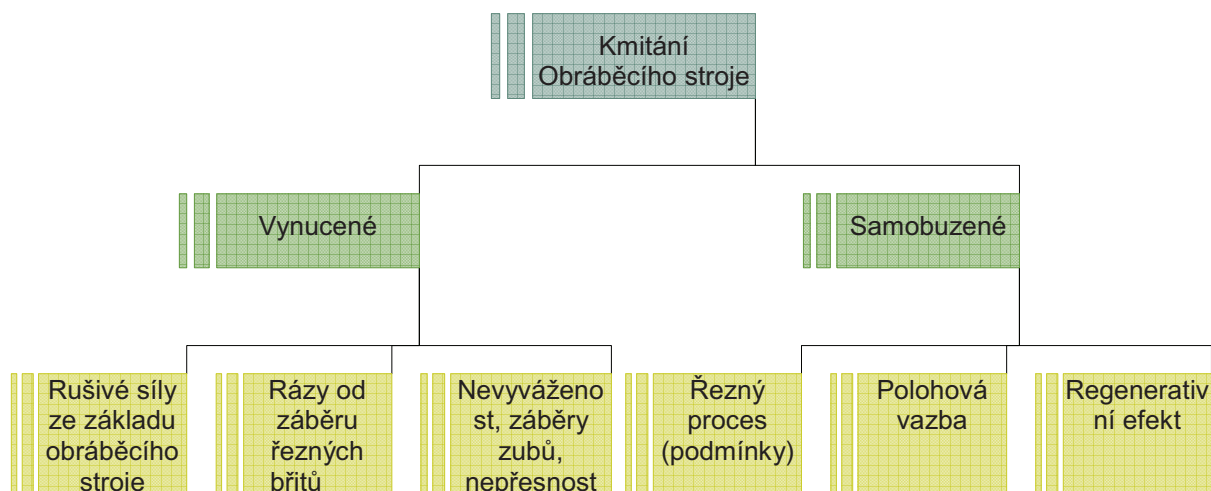
k – tuhost

b – tlumení

m – váha soustavy

Q(t) – budící síla

q(t),... – poloha, rychlost a zrychlení

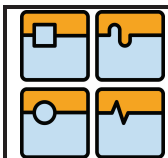


obr.33 : Příčiny kmitání [8]

Příčiny kmitání:

>Vyvozené strojem samotným:

- nevyváženost rotujících součástí (nástroje, vřetena, obrobky, hřídele, ozubená kola, spojky, rotor elektromotoru)
- setrvačné síly prvků, které konají přímočarý nebo kruhový pohyb (saně, smýkadla)
- nepřesnosti převodových mechanismů (házení ozubených kol, házení ložisek...)
- periodické síly dané principem pohonů (zubová či pístová čerpadla...)



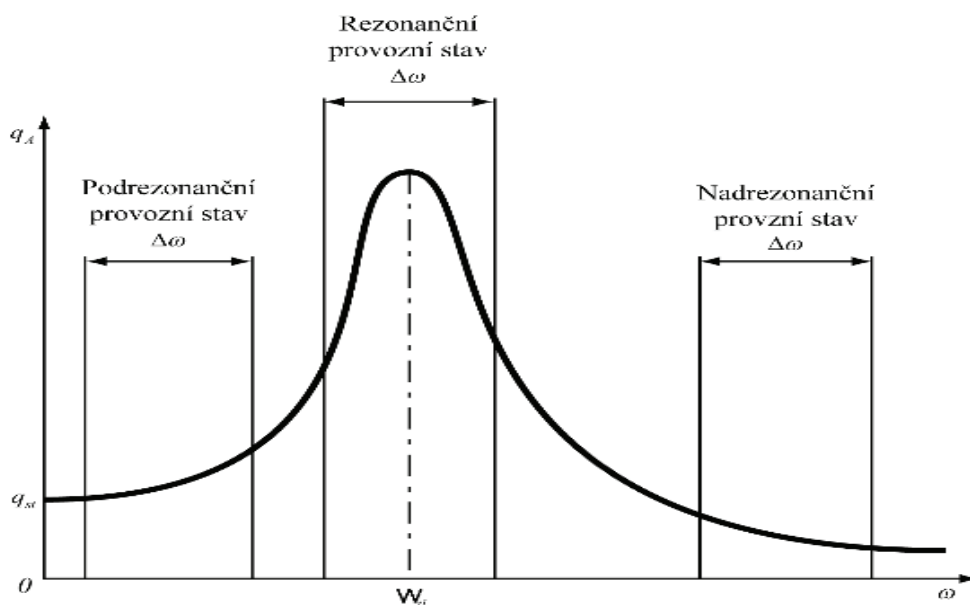
DIPLOMOVÁ PRÁCE

- nesymetrické rotační části (hřídele s drážkou), promítnutí proměnlivosti tuhosti a následný vznik periodické deformace při otáčení
- periodické síly přenášené přes základ stroje na stroj

>Vyvozené řezným procesem:

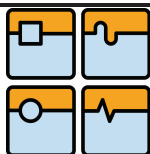
- změna průřezu třísky (periodická budící síla úměrná otáčkám) soustružení hranatého profilu
- proměnlivý řezný odpor (častý jev při frézování, který je vyvozen počtem zubů frézy a danými otáčkami)
- broušením vzniká vynucené kmitání vlivem periodického házení obrobku nebo brusného kotouče
- kmitání vyvolané řezáním mají značnou amplitudu a projevují se hlavně při hrubování a v menší míře i při dokončování

Kmitání je další nežádoucím projevem, který zhoršuje přesnost stroje a jakost obrobku. Kmitání lze rozdělit na vynucené a samobuzené kmitání. Do vynuceného kmitání pak spadají rázy od záběru řezných sil, nevyváženost záběru zubů, rušivé síly ze základu obráběcího stroje. Samobuzené pak vznikají řezným procesem. Dalším problémem je vliv vibrací z vnějších zdrojů. V dnešní době se v halách šetří místem a tedy stroje mohou přenášet chvění. Kmitáním strojů lze předejít, pokud soustava je dostatečně tuhá a stroj má dostatečně ošetřené kotvení. Pokud je stroj dostatečně tuhý a je dobře ukotven, jedná se o tzv. pasivní tlumení. Míra pasivního tlumení je definována jako podíl amplitudy kmitání stroje vůči amplitudě země (základ).



obr.33: Provozní stavy stroje [7]

Jednoznačně nejtěžší úkol konstruktéra je vyhnout se práci stroje v rezonančním kmitání (otáčkách). Dochází zde k vibracím, které nevedou jen k nepřesnosti obrábění, ale může dojít i k porušení stroje. Proto je lepší vyvarovat se této oblasti, a práci stroje omezit pouze na podrezonanční pracovní stav nebo nadrezonanční pracovní stav.

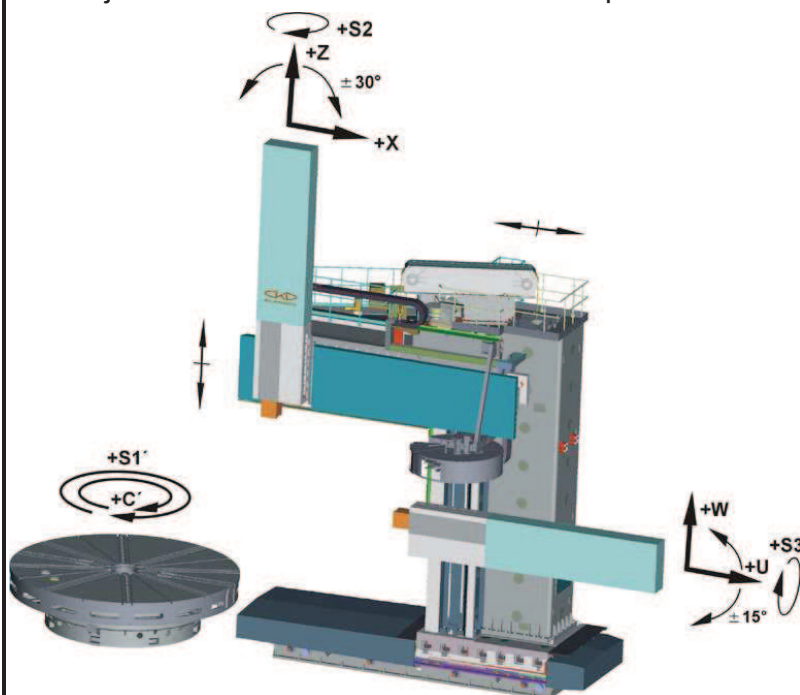


5. Svislé soustruhy - základní charakteristika

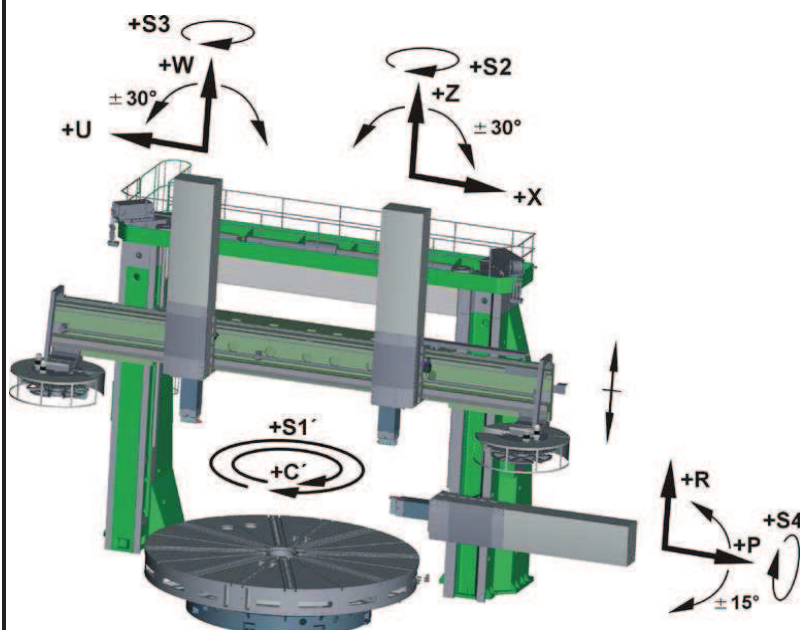
Tyto stroje lze zařadit v dnešní době do kategorie svislých obráběcích center, dříve byly samostatnou skupinou pod označením karusel. Konstruktivní uspořádání stroje se zakládá na horizontálním uspořádání stroje. Obrobek je uložen na

rotačním stole (pohyb sklíčidla je relativní ve směru osy Z). Nástroj se pohybuje v osách X a Z. Další alternativou je tzv. C osa, která je ve smykadle nebo v upínacím stole.

Základní částí stroje je lože, v jeho přední části je umístěn rotační stůl s pohonem. V zadní části je umístěn stojan nebo stojany. Využívá se jeden masivní stojan nebo dvoustojanové řešení se spojovacím. Na stojanu jsou vodící plochy a pohyb je nejčastěji realizován pohybovým šroubem. Na příčnici jsou běžně uloženy jeden nebo dva suporty se smykadly s upínací hlavou pro nástroj. Stroj je podle potřeb zákazníka opatřen kryty, oplocením nebo jinými ochrannými prostředky. K dispozici jsou různé druhy výměnných stolů, automatizovaných pracovišť atd.



obr.34: Jednostojanový karusel [19]



obr.35: Dvoustojanový karusel [19]

6. Částí strojů a analýza zatížení různých částí stroje

6.1 Rám soustruhu:

Nejvýznamnější částí stroje je rám - značnou měrou se podílí na tuhosti soustavy, tlumení kmitání, které prochází přes rám do kotvení a posléze do základu pod strojem. Důležitým faktorem rámu je tepelná stálost (špatná tepelná stálost => horší přesnost). Předpokladem dobrého rámu je také dobrá dynamická a statická tuhost.

tab. 1.16: Základní druhy namáhání a důsledky jaké mají na stroj[13]

pevnost(tah, tlak, ohyb, krut)	bezpečnost proti trvalé deformaci či porušení
specifická hmotnost	hmotnost, statické a dynamické vlastnosti
vnitřní pnutí	trvalá přesnost
útlum chvění	dynamické vlastnosti
modul pružnosti v tahu (smyku)	statická a dynamická tuhost
tvrdost a kluzné vlastnosti	vnitřní pnutí
tepelná roztažnost a vodivost	tepelná stabilita

Hlavní nevýhodou konvenčních materiálů jako jsou **ocel** a **litina** jsou tepelné roztažnosti. Značným nešvarem je vnitřní pnutí v rámu vyskytující se jak u svarků, tak i u odlitků. Další nutností je dobré žebrovaní, aby nedocházelo k deformacím z důvodu nedostatečné tuhosti konstrukce. Na druhou stranu, jde už o propracovaný postup výroby, ale rozhodně né vždy levnější.

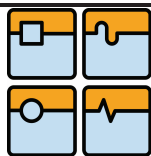
6.2 Lože a stojany(sloupy) karuselu:



Rám a jeho konstrukce dává stroji jeho určující velikost a tvar. Skládá se ze 4 základních částí: lože, stojan(y), příčník, sloup(y). Určujícími faktory rámu stroje jsou především velikost deformace, pevnost a tuhost.

Převážně se tyto části stroje dělají z litiny nebo oceli, ale lze je nahradit materiály jinými. Vhodných materiálů je celá řada, například **polymerbetony**. U tohoto materiálu závisí hodně na pórovitosti. Čím jsou póry menší, tím je polymerbeton kvalitnější a vzrůstá zejména jeho pevnost. Z toho vyplývá, že čím je menší podíl pryskyřice, tím je konstrukce pevnější.

obr. 36: obrázek karuselu powerturn

Kmitání:

„Vlastní frekvence a vlastní tvary kmitu jsou u polymerbetonu posunuty mimo kritickou oblast a dále dochází ke snížení amplitudy kmitů při rezonanci a snížení hluku.

Použitím polymerbetonu pro stavbu stojanu obráběcího stroje dosáhneme lepší kvalitu obrobených ploch, vyšší životnost obráběcích nástrojů (až o 30%) a snížení hladiny akustického tlaku (až o 20%). Bylo to prokázáno u skříní převodovek a úchytů velkých motorů a odstředivek z polymerbetonu.“ [15]

Tuhost:

„Nosné prvky z polymerbetonu mají vlivem větších průřezů vyšší tuhost než litinové stojany. Nosník z polymerbetonu (E -modul 45 GPa) má oproti stejně těžkému nosníku z litiny až 3,5x větší specifickou tuhost (tuhost vztaženou na měrnou hmotnost), což znamená 3,5x menší průhyb při působení stejně velké síly.“ [15]

Další kandidát na náhradu odlitků je **předepnutý beton (HPC)** - zhruba poloviční tepelná kapacita jak u oceli a dobrá dynamická teplotní charakteristika jak u polymerbetonu. Má podobné hodnoty útlumu jak polymerbeton a vynikající absorpci vibrací, dále velice levný materiál. Vyniká odolností vůči kmitání a vynikající rozměrovou stálostí. Kvůli masivní konstrukci mají dílce vysokou hmotnost. Oproti nám již známému betonu, se vyznačuje HPC beton hustější strukturou a vyšší pevností v tlaku, což se dosahuje přídavnými látkami, konkrétně přidáváním mikrosilikátů do směsi.

Firma Bágl Reitz, zabývající se zpracováním HPC betonu, představila nový materiál HIPERCON®. Tento typ předepjatého betonu užívá i firma TOSHulín pro konstrukci svislých soustruhů.

tab. 1.17 Mechanické vlastnosti materiálu **HIPERCON®** (HPC beton)[16]

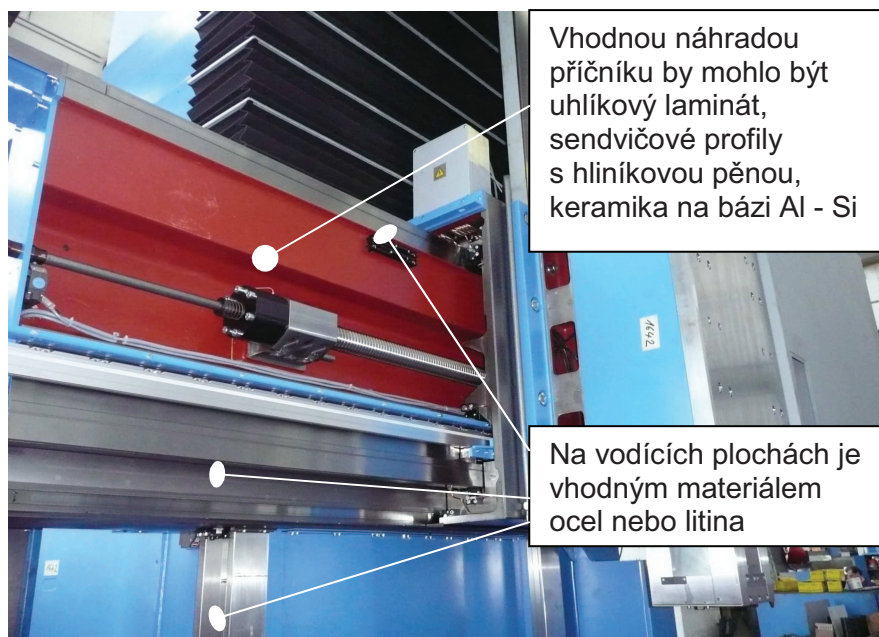
Měrná hmotnost[kg*m ⁻³]	2500-2700
Modul pružnosti v tahu[GPa]	60
Pevnost v tahu[MPa]	8 – 10
Pevnost v tlaku[MPa]	100-200
Koeficient tlumení[-]	0,02-0,01
Součinitel tepelné roztažnosti[K ⁻¹]	10,6*10 ⁻⁶
Tepelná vodivost[W*m ⁻¹ *K ⁻¹]	1,7
Tepelná kapacita[J*kg ⁻¹ *K ⁻¹]	900

Nelze opomenout ani **žulu**. Bohužel aplikace tohoto materiálu sebou nese mnoho problémů, např. při dohotovení modelu již nelze zasahovat do konstrukce. Je vhodný pro konstrukci velmi přesných rámců (rámy brusek, dokončovacích strojů...). Zde se dosahuje přesnosti na tisíce milimetru. Spojování jednotlivých dílů je možné mechanicky nebo lepením epoxidovými lepidly.

Přednostmi tohoto materiálu jsou především tuhost, tvarová stálost a nízká teplotní roztažnost.

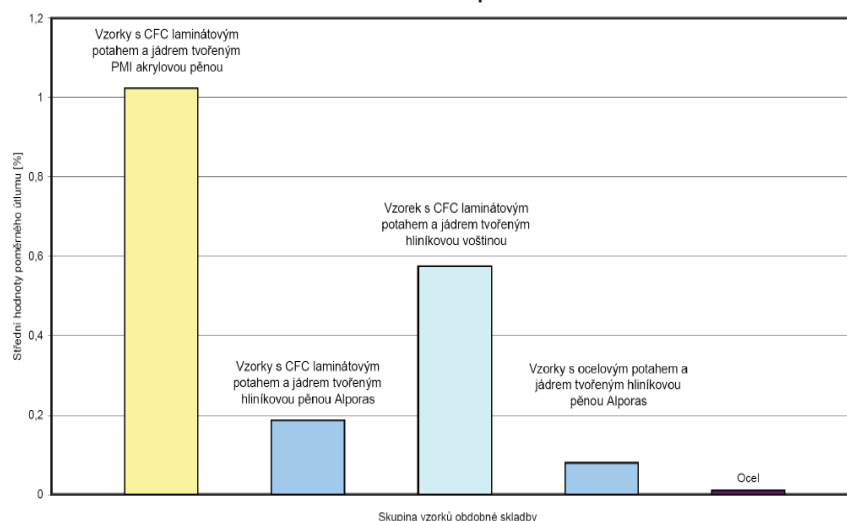
6.3 Příčník soustruhu:

Platí přibližně to samé, co pro rám stroje s tím rozdílem, že příčník není tak rozměrný jak rám a tím je kladen ještě větší důraz na materiál. Je upevněn buď na jednom nebo dvou stojanech. Důraz je kladen především na důkladné žebrování, jelikož dobré tlumení kmitání a dostatečná tuhost je předpoklad pro kvalitní a přesné obrábění. Nedostatečnou tuhostí může také docházet ke zkrucování nebo ohýbání příčníku. A to zejména při obrábění, kdy je namáhán dynamicky. Nejen, že na něj silově působí obrábění samotné, ale je zatížen vlastní vahou a zároveň vahou nástroje.

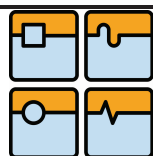


obr. 37: karusel powerturn detail příčníku

Sendvičové profily plněné hliníkovou pěnou mají při konstrukci skříňových profilů velký potenciál. Jde hlavně o to, že hliníková pěna dodá součásti na tuhosti a velmi dobrou schopnost tlumit kmitání.



obr. 38: Střední hodnoty naměřeného středního útlumu na 1.vlastní frekvenci pro jednotlivé skupiny vzorků [17]



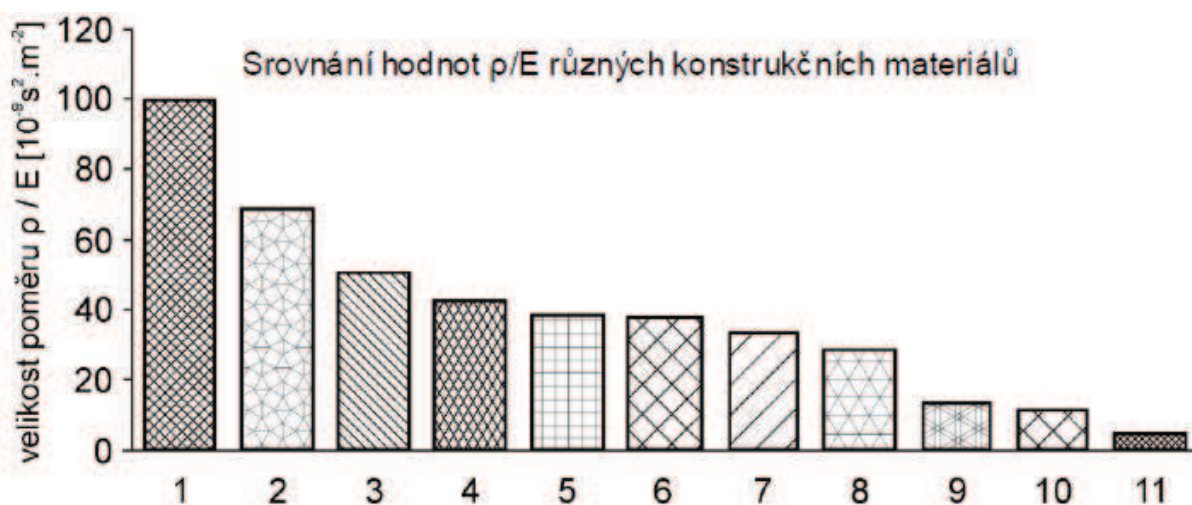
Z obrázku 38 je patrné, že sendvičové profily jsou mnohonásobně perspektivnější než ocelové. Nejlepší tlumení se jeví u kombinace CFC laminátu a jádra z akrylátové pěny.

Množství variací materiálů na sendvičové desky je mnoho. Dalo by se tvrdit, že pro každý případ existuje určitá kombinace tohoto materiálu, který je pro danou situaci vhodný. Je totiž mnoho parametrů, které je možno volit. Jako například druh krycího materiálu a jeho tloušťka, druh vnitřního materiálu a jeho tloušťka. V dnešní době se využívá nejen tepelné spojování desek, ale lze je spojovat i lepením.

tab. 1.18: Vlastnosti různých vyráběných **hliníkových pěn** [11]

	Alulight	Foaminal
Měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	300 – 1000	400 – 1000
Modul pružnosti v tahu [GPa]	1,7 - 12	3,5 – 8,4
Součinitel teplotní roztažnosti [K^{-1}]	-	$20 \cdot 10^{-6}$
Tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	-	16,7
Tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	910	880

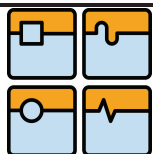
Uhlíkový laminát jako náhrada konvenčních materiálů, jako jsou ocel nebo litina, předčí v mnoha ohledech. Opět se zde objevuje lepší tlumení. Na obrázku je výčet jen několika druhů materiálů v závislosti na útlumu.



obr. 39: 1 – oxidová keramika, 2 – polymerbeton a šedá litina, 3 – skelný laminát s II vyztužením, 4 – titan, 5 – hliník, 6 – konstrukční ocel, 7 uhlíkový laminát s HT vlákny a # vyztužením, 8 – aramidový laminát s II vyztužením, 9 – uhlíkový laminát s HM vlákny a # vyztužením, 10 – uhlíkový laminát s HT vlákny a II vyztužením, 11 – uhlíkový laminát s HM vlákny a II vyztužením [18]

Ze srovnání p/E různých materiálů vyplývá, že díly z uhlíkového laminátu mohou být v průměru o 10 až 90% lehčí než kovové díly při stejné tuhosti. [18]

Laminát je volen také pro regulaci teplotní roztažnosti, kterou lze docílit správnou volbou složení vrstev. Laminát dosahuje nulových až záporných hodnot teplotní roztažnosti. Dalším důvodem je možnost vyplnění dutiny PUR pěnou čímž dosáhneme ještě většího tlumení za cenu jen malého zvýšení váhy.



6.4 Rotační stůl a náhoný hřídel:



obr. 40: karusel powerturn detail lože a stolu

Hřídel z uhlíkového laminátu

Velikost vlastních frekvencí u laminátového hřídele při krouživém kmitání může být až 3x vyšší než vlastní frekvence kovového hřídele.

Schopnost tlumení je závislá na velikosti specifického modulu pružnosti v tahu, tedy poměru E/ρ . Jelikož je poměr E/ρ u laminátu vyšší než u kovů, bude hřídel z jednosměrně vyztuženého uhlíkového laminátu s HT vlákny při krouživém kmitání mít oproti kovovému hřídeli stejných rozměrů přibližně 2x a oproti hliníkovému 1,5x vyšší útlum [18]

Graf E/ρ je na obrázku 39.

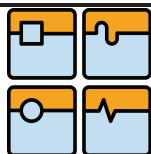
Keramiky na bázi Al – Si

CeramTec Czech Republic, se sídlem v Šumperku, vyrábí dvě základní materiálové modifikace z karbidu křemíku (SiC). Tento materiál je vhodný pro konstrukci hřídelů. Materiál s obchodním názvem Rocar®SiG, jejíž základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab.1.19. [20]

tab.1.19: Vlastnosti keramického materiálu Rocar®SiG[20]

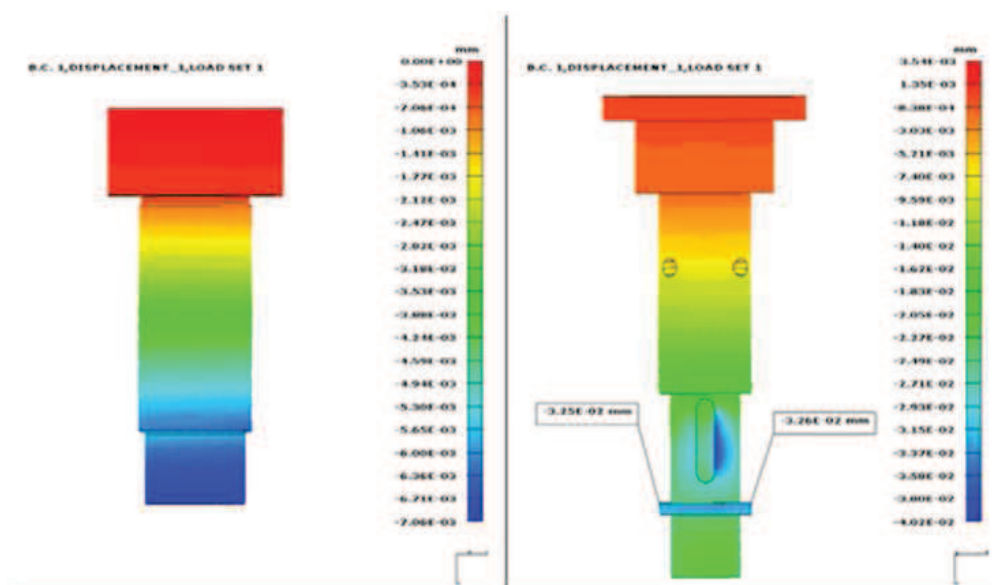
Mez pevnosti v ohybu [MPa] při 20°C / 1000°C	340/340
Mez pevnosti v tlaku [MPa]	3500
Youngův modul pružnosti [GPa]	380
Tvrdość dle Vickerse HV 0,2	1200(Si) 2700(SiC)
Lomová houževnatost KIC [MPa m ^{1/2}]	4,0
Poissonovo číslo	0,17
Tepelná vodivost[W*m ⁻¹ * K ⁻¹]	1,7
Hustota [g/cm ³ nebo t/m ³]	3,07

Rozdílným mechanickým vlastnostem keramiky v tlaku a tahu musí být uzpůsobeno i konstrukční řešení hřídele tak, aby se minimalizovala tahová napětí. Hlavní funkcí hřídele je přenos točivého ("kroucího") momentu. Daný moment na hřídeli musí být maximální (např. který je pohon schopen vyvinout nebo brzda zastavit). Čas rychlosti náběhu momentu může dosahovat 1[ms]. [20]



Vzhledem k vysokému modulu pružnosti a nízké hodnotě Poissonova č. má keramika SiSiC velmi vysoký modul ve smyku v porovnání s ocelí. Smykový modul určuje velikost torzní tuhosti. Modul pružnosti ve smyku oceli je kolem 79 GPa, pro keramiku SiSiC je kolem 162 GPa.

Keramika SiSiC tedy má 2x vyšší tuhost ve smyku a 1,8x vyšší tuhost v tahu/tlaku. Další zásadní výhodou je úspora hmotnosti až 60% ve srovnání s ocelovým provedením stejné koncepce. [20]



obr.41: Porovnání velikosti natočení hřídele zatíženého momentem (vlevo SiSiC vpravo o ocelové provedení) [20]

Vhodnou konstrukční úpravou lze dimenzovat hřídel tak, aby odolala vlivům v pohonu. Dalším oříškem je uložení hřídele a tvarové styky na přenos krouticího momentu. K přenosu M_k lze užít rozpěrná pouzdra, které nemají na hřídel tak špatný vliv jako klíny nebo pera.

Zlepšení torzní tuhosti SiSiC hřídele je téměř 5,7x vyšší než u ocelového provedení hřídele. Významný podílem se na tomto násobku tuhosti podílí odstranění drážky pro pero a mírné zvětšení průměru SiSiC hřídele. [20]

6.5 Zásobník nástrojů:



Různé druhy zásobníků nám dávají jistou svobodu při návrhu výměny nástrojů. Záleží ovšem na potřebách zákazníka (dle počtu nástrojů, druhu upínacího kuželu, druhu výměny nástrojů). Důležitým faktorem výměny nástrojů je čas, za který se tato výměna uskuteční.

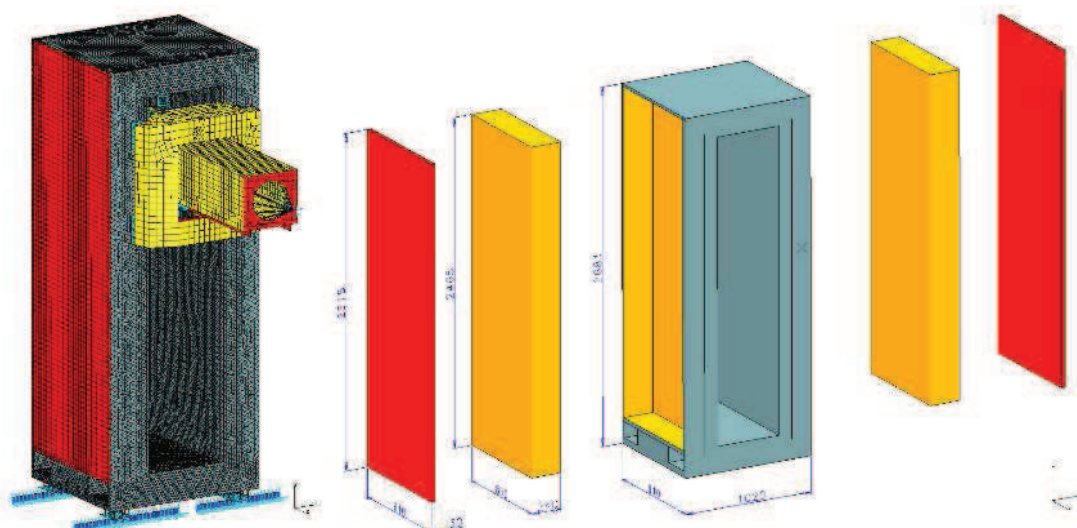
Plastové držáky nástrojů usnadňují upínání nástrojů do zásobníku. A jde i o levnější řešení než dříve používané železné.

obr. 42: karusel powerturn detail rotační výměny nástrojů

6.6 Ochranné kryty:

Dnes již jsou kryty nedílnou součástí každého stroje. Jde především o ochranu obsluh při řezném procesu. Nejedná se jenom o odlétající části materiálu a chladicí kapalinu, ale i o pohybující se části stroje. Zejména pak při rychloposuvu, kde se je rychlost posuvu největší. Při návrhu krytů je důležité brát ohled na kmitání stroje a důkladně připevnit kryty k rámu stroje. Kryty se dělí na vnitřní a vnější, přičemž mají vnější kryty na starosti již zmiňovanou ochranu pracovníků. Vnitřní kryty zabraňují styku pohyblivých částí s pracovním prostorem (kuličkové šrouby, vedení...)

Řešením krytů by byla samonosná konstrukce tvořená například **sendvičovými profily**, jak je znázorněné na obrázku 43.



obr. 43: Náhrada klasické kapotáže sendvičovými profily [18]

tab.1.20 : Tabulka netradičních materiálů [25]

Materiál	Pevnost v ohybu [MPa]	Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	E - modul [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Dekrement útlumu [-]
ocel	150-600	7850	210	400 - 1600	250 - 1200	0,002
litina	100-300	7200	70 - 100	150 - 400	700 - 1200	0,003
přírodní žuly	-	2800	-	22	400	-
polymerbeton	15-50	2300-2500	30 - 44	10 - 40	140 - 160	0,02-0,03
hliníková pěna	-	300-1000	1,7 – 12	-	-	-
keramika	340	3150-3500	45	-	3500	-
HPC beton	3 - 8	2200-2500	50 - 60	8 - 10	100 - 200	0,02 -0,03
Uhlíkové vlákno HM (výztuž II)	-	1600	360	1200	-	-
Uhlíkové vlákno HM (výztuž#)	-	1600	120	400	-	-
Uhlíkové vlákno HT (výztuž II)	-	1600	144	2400	-	-
Uhlíkové vlákno HT (výztuž #)	-	1600	48	800	-	-
aramidové vlákno (výztuž II)	-	1400	50	200	-	-
vlákno z E – skla (výztuž #)	-	2000	40	1100	-	-

7. Srovnání konstrukce kompozitu z konvenčními materiály

Jak je patrné z tabulky materiálů, tak materiály, které jsou částicové kompozity (žula, polymerbeton či HPC beton) nejsou odolné na namáhání v ohybu, což může být problematické. Proto tyto kompozity vyžadují zvláštní konstrukci.

Na druhou stranu se tyto materiály oproti oceli a litině výrazně odlišují v dekrementu útlumu, který je vyšší o jeden řád.

Další značnou slabinou částicových kompozitů je slabá odolnost vůči tahovým napětím. V konstrukci musí být tento materiál namáhán tlakově. Při

upínání jiných dílů je to řešeno přes zabudovaná ocelová pouzdra. To mě přivádí k tomu, že do formy lze zabudovat různé komponenty

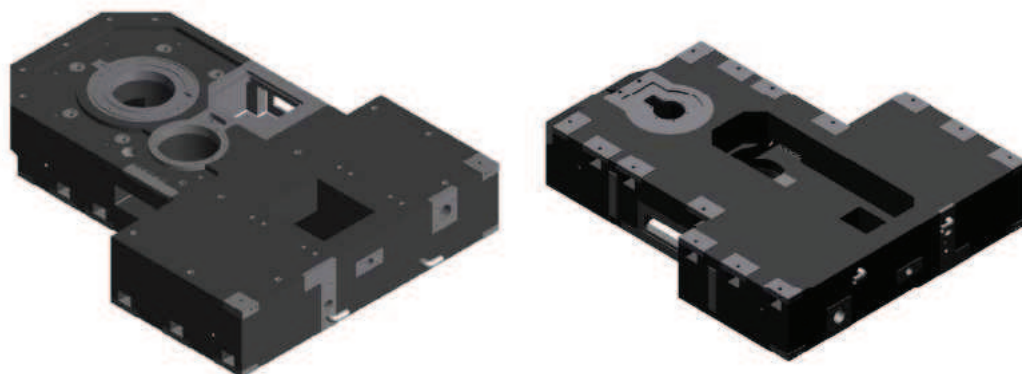
-plastové nebo kovové rozvody (mazání, pneumatika, hydraulika, elektrické rozvody)

-okruhy s topením a chlazením pro zajištění tepelné stability

Z důvodu abrazivního působení třísek či chladicí kapaliny na tyto materiály je nutné zakomponovat na ochranu proti otěru ocelové či jiné krytování.

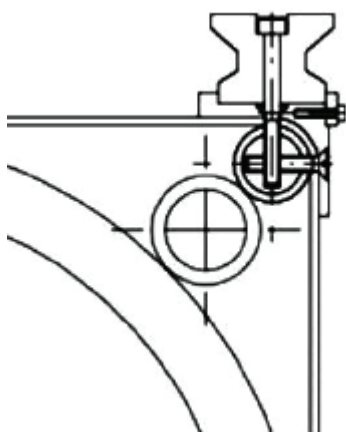


obr.44: Litinové lože[14]



obr.45: Polymerbetonové lože náhrada z obr.45 [14]

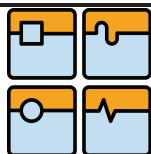
Srovnání konstrukce vláknových kompozitů s konvenčními materiály



Měrná hmotnost oceli nebo litiny je 4x větší než u vláknových kompozitů. Jde tedy o materiál výrazně lehčí než je kov, ale se srovnatelnými mechanickými vlastnostmi. U karuselu jej lze užít zejména na konstrukci hřídelí, příčnicku nebo samotného rámu.

Jestliže tyto materiály používáme při konstrukci, musíme mít na paměti, že při uložení ložisek nebo lineárního vedení tento materiál nelze použít. Je nutné použít jiného materiálu. Je možné použít jeden z druhů spojení, které je v tabulce na obrázku 58 nebo na obrázku 46.

obr.46:Připevnění vodících lišt k uhlíkovému příčnicku

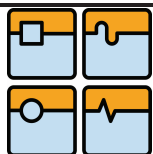
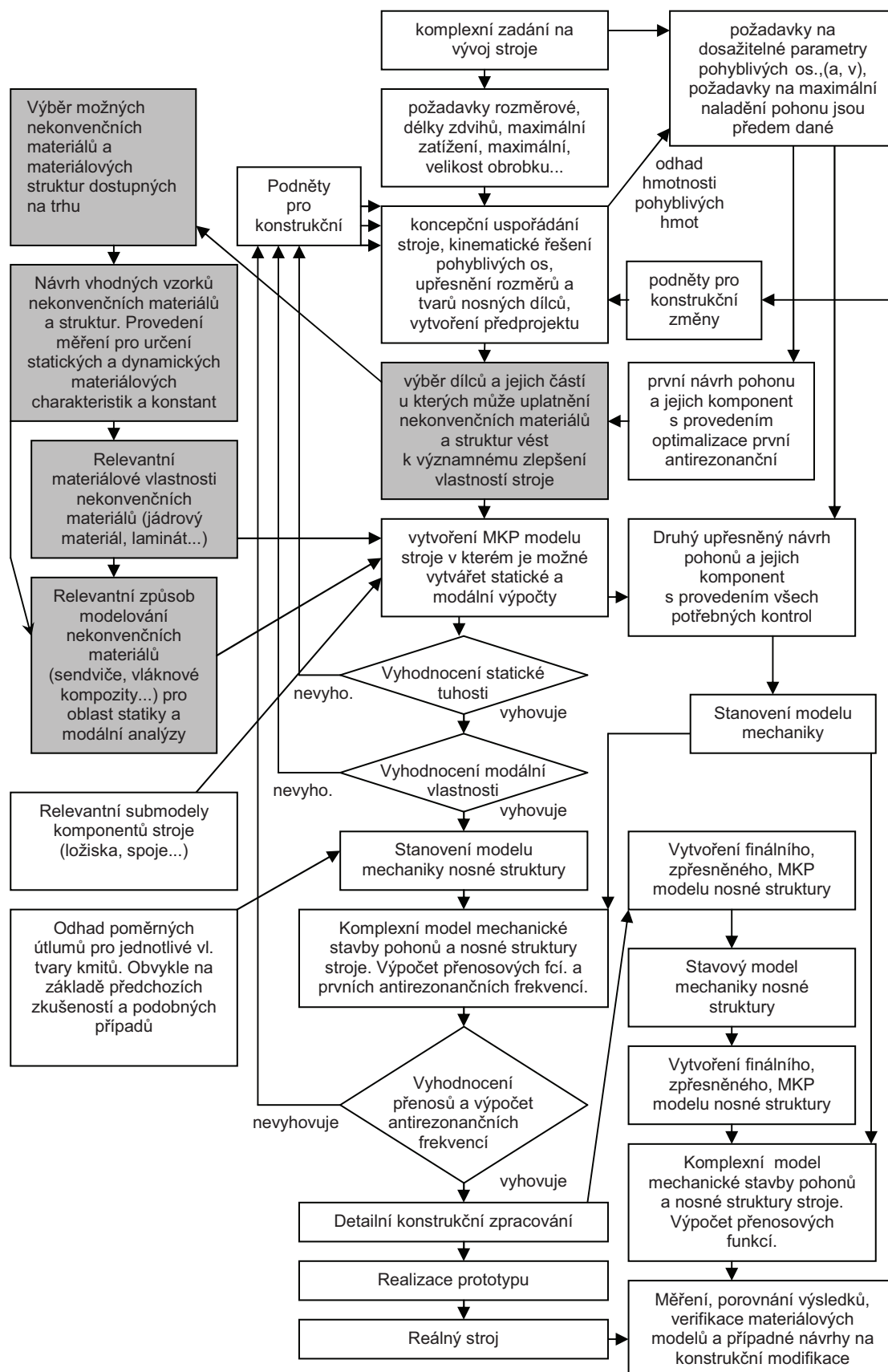


tab.1.22: Tepelné vlastnosti kovů a kompozitů[19]

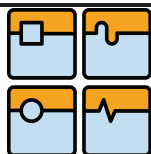
Materiál	Součinitel délkové roztlačnosti [K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W*m ⁻¹ * K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita [J*kg ⁻¹ *K ⁻¹]
hliníková pěna	20 . 10 ⁻⁶	16,7	880
keramika	4,7.10 ⁻⁶	-	-
přírodní žuly	8*10 ⁻⁶	1,7	750
polymerbeton	9-18	1-3	700 -1300
ocel	11-18. 10⁻⁶	47	490
litina	10. 10⁻⁶	50	450
HPC beton	10,6. 10 ⁻⁶	1,7	900
Uhlíkové vlákno HM (výztuž II)	-0,5. 10 ⁻⁶	50	1000
Uhlíkové vlákno HM (výztuž#)	-1. 10 ⁻⁶	1	1000
Uhlíkové vlákno HT (výztuž II)	0. 10 ⁻⁶	10	1000
Uhlíkové vlákno HT (výztuž #)	0,5. 10 ⁻⁶	1	1000
aramidové vlákno (výztuž II)	-3,5. 10 ⁻⁶	0,1	1500
vlákno z E – skla (výztuž #)	5. 10 ⁻⁶	0,6	1100

Jednoznačnou slabinou ocelových a litinových dílů je jejich slabá odolnost vůči tepelným vlivům. Jak je patrné z tabulky 1.22, u netradičních materiálů je tato vlastnost spíše výhodou. Jejich tepelná odolnost se vesměs od tradičních materiálů liší téměř o jeden řád (s výjimkou hliníkových pěn). U uhlíkových materiálů lze dokonce dosáhnout i záporné délkové roztlačnosti.

Další značnou výhodou je také malá tepelná vodivost. V dnešní době je značným problémem řešit dostatečně tepelnou bilanci stroje. Tepelný vliv rezného procesu nám doslova ovlivňuje celý stroj. Ocelová konstrukce je ideální pro šíření tepla do celého stroje. Jsou zde i jiná místa, kde nám vzniká velké množství tepla, jako jsou motory, brzdy, ložiska, převody.....všechna místa, kde se tření mění na teplo jsou nežádoucí a nepříznivě nám ovlivňují přesnost stroje.

Metodika pro náhradu konvenčních dílců:

obr.47: Schéma nahrazování dílců z konvenčních materiálů[17]



8. Praktický příklad:

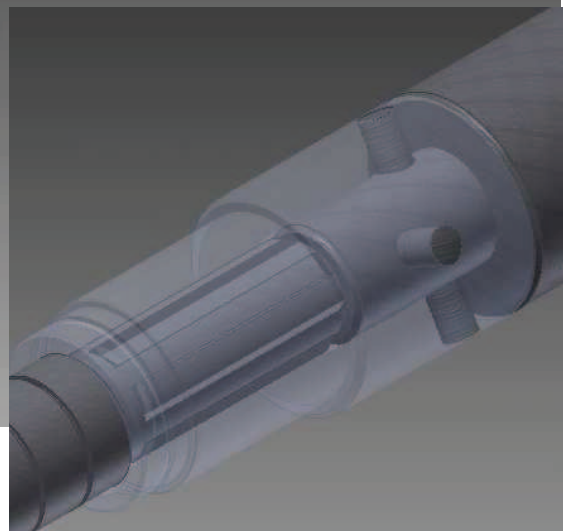
8.1 Zadání příkladu náhrady

Nahrazení hřídele náhon rotačních nástrojů SKA-C.

Model hřídele náhonu rotačních nástrojů:

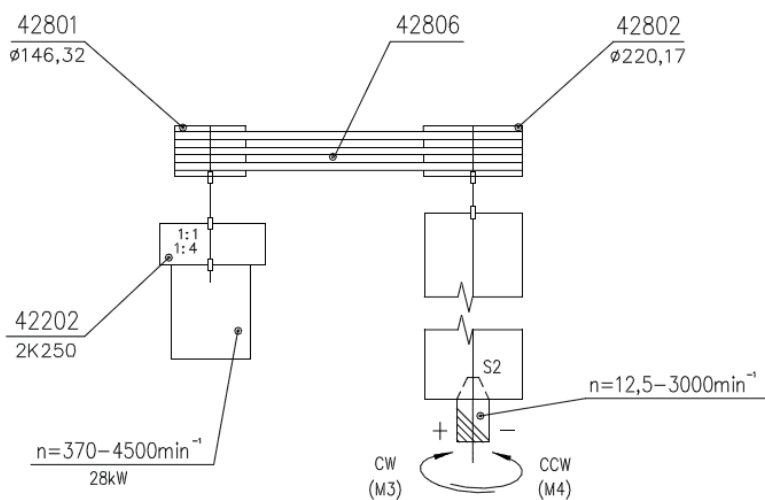


obr. 48: Celkový pohled na sestavu



obr. 49: Detail spojení hřídele

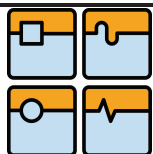
Schéma náhonu hřídele:



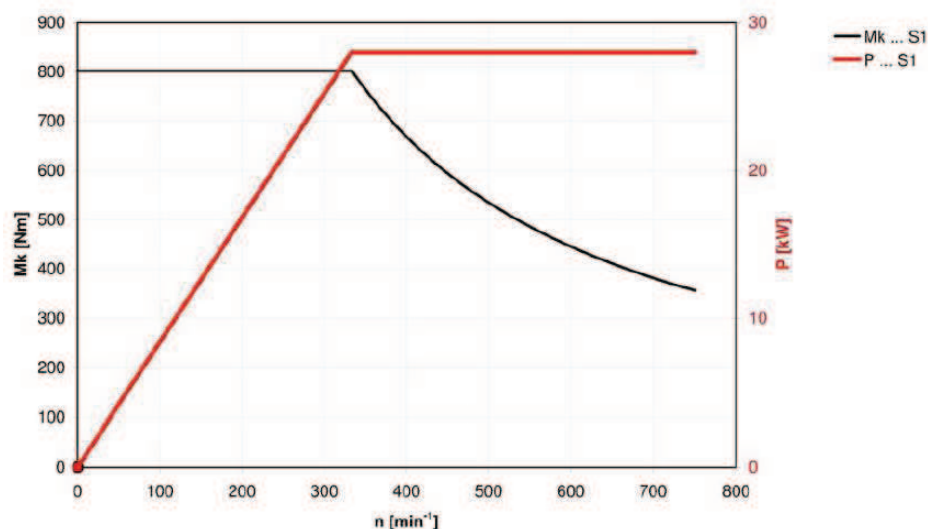
I. řada 333 – 750ot/min
II.řada 1333 – 3000ot/min

Do 333 ot/min se užívá výhradně I.řada, kde výkon roste až na 28kw při konstantním M_k 802Nm.

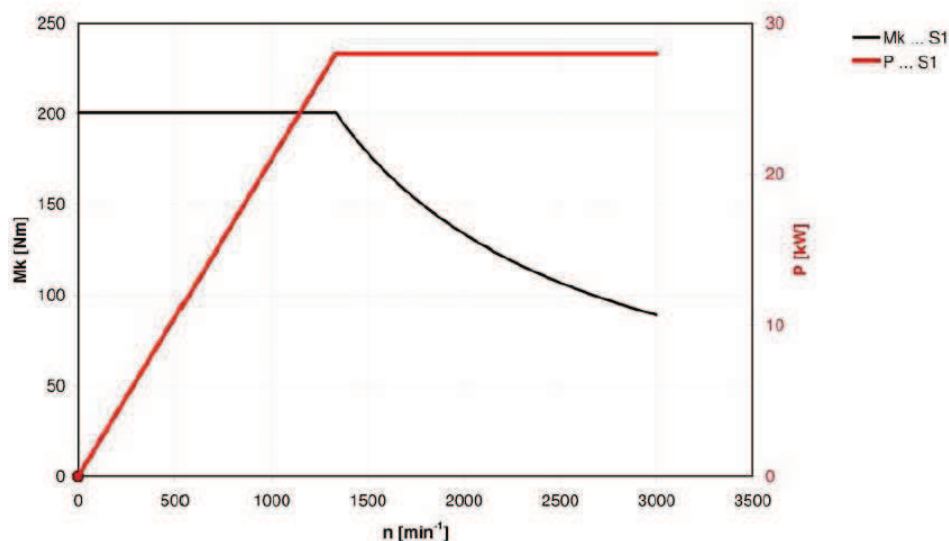
obr. 50: Schéma pohonné soustavy [23]



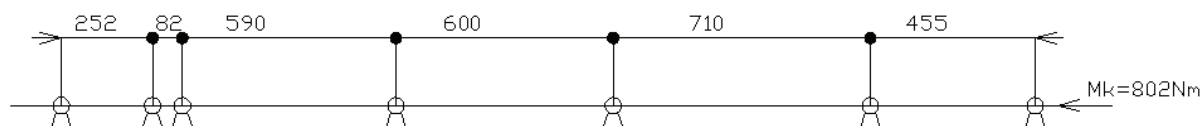
obr. 51: Charakteristika vřetene náhonu rotačních nástrojů I. převodový stupeň [23]



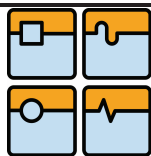
obr. 52: Charakteristika vřetene náhonu rotačních nástrojů II. převodový stupeň [23]



obr. 53: Schéma uložení hřídele:



Jediné zatížení, které působí na hřídel, je moment od náhonu motoru. Tedy nejhorším případem je, jestliže hřídel je zkrucována maximálním momentem. K tomuto případu dojde, pokud nástroj uvízne v materiálu.

**Kontrola na krut ocelové hřídele:**

$$\tau_k = \frac{Mk}{Wk} = \frac{802000}{5452,23} = 147,1 \text{ MPa} \quad 1.2$$

Mk - kroutící moment působící na hřídeli je 802Nm

Průřezový modul v krutu pro mezikružší:

$$W_k = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 32^3}{16} \left[1 - \left(\frac{20}{32} \right)^4 \right] = 5452,23 \text{ mm}^3 \quad 1.3$$

Kritický průřez je mezikružím v místě drážkované hřídele. D = 32mm a d = 20mm.

Zkrut hřídele:

$$\varphi = \frac{Mk \cdot L}{G \cdot Jp} \cdot \frac{180}{\pi} \quad 1.4$$

L – délka tyče namáhané krutem [mm]

u – úhel pootočení průřezu – zkrut [°]

G – modul pružnosti ve smyku [MPa]

Jp – polární moment setrvačnosti [mm⁴]

G.Jp – tuhost průřezu [N.mm²]

$$Jp = \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 \cdot d^4) \quad 1.5$$

D – Vnější průměr [mm]

d – vnitřní průměr [mm]

V příloze jsou výsledky pevnostní analýzy, z nichž jsem vycházel při konstrukci kompozitového řešení. Výpočet pootočení hřídele při plném zatížení je na straně 49.

Hmotnost hřídele:



obr.54: Schéma rozložení hmotnosti

Hmotnost ocelové hřídele:

Údaje jsou z firemních výkresů TOSHULIN

$$m_{OC} = m_2 + (m_1 + m_3 + m_4) = 3,774 + (58,000) = 61,778kg \quad 1.6$$

Hmotnost kompozitové hřídele:

Objemy jsou vygenerovány z programu Inventor 2011

objem uhlíkového tělesa na hřídeli 1: $V_1 = 0,005398766072m^3$

objem uhlíkového tělesa na hřídeli 2: $V_2 = 0,000399457826m^3$

měrná hmotnost uhlíkového tělesa: $\rho = 1600kg.m^{-3}$

$$m_{KOM} = m_1 + m_2 + m_3 + 2 \cdot m_4 = (1,012 + 0,485 + 2 \cdot 0,458 + 4,332 + 0,005398766072 \cdot 1600) + \\ + (0,424 + 0,000399457826 \cdot 1600 + 0,951) + 3,285 + 2 \cdot 0,067 = 15,437 + 2,014 + 3,285 + \\ + 2 \cdot 0,067 = 20,870kg \quad 1.7$$

Úspora hmotnosti u kompozitové hřídele je 66%.

Prodloužení hřídele vlivem oteplení:

Teplota při plném zatížení stroje je $t_s = 40^\circ C$. Provozní teplota v hale (teplota okolí stroje) je $t_o = 20^\circ C$.

$$\Delta T = t_s - t_o = 40 - 20 = 20^\circ C \quad 1.8$$

Prodloužení hřídele vlivem tepla:

$$\Delta l = l_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad 1.9$$

Δl – prodloužení součásti [mm]
 l_0 – původní délka součásti [mm]
 γ – součinitel teplotní roztažnosti [$^\circ C^{-1}$]
 ΔT – změna teploty [$^\circ C$]

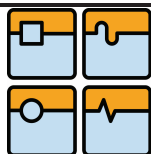
Ocelová hřídel:

$$\Delta l = l_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T = 2886,5 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 0,8mm$$

Uhlíková hřídel:

$$\Delta l = l_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T = [(109 + 257 + 350) \cdot 14 \cdot 10^{-6} + (224,5 + 1946) \cdot (-1) \cdot 10^{-6}] \cdot 20 = (0,010 - \\ - 0,002) \cdot 20 = 0,16mm$$

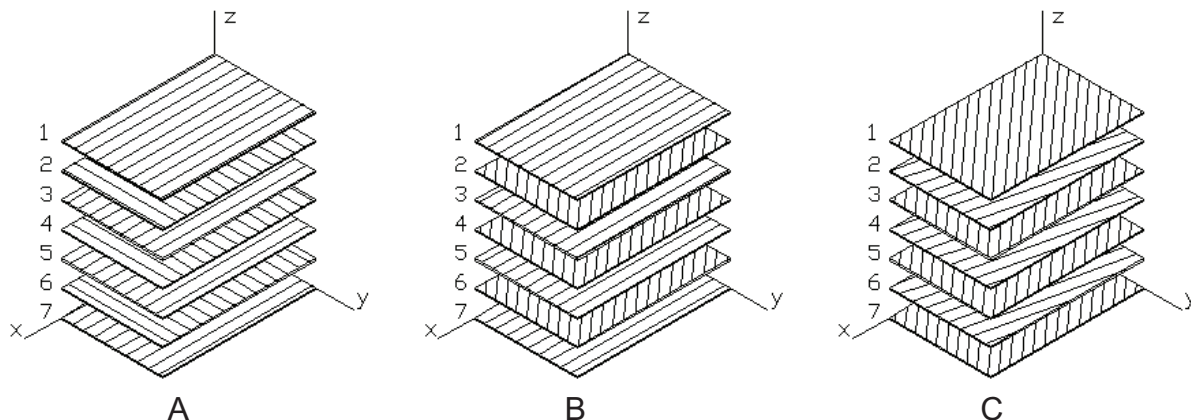
Prodloužení uhlíkové hřídele je o 80% menší než u ocelové hřídele, a to při orientaci vláken ne směru prodloužení.



9. Technická zpráva:

Výběr orientace vrstev:

Skladba laminátu je provedena ve třech variantách. Zvoleno je 7 vrstev s tloušťkou každé z nich 2 a 3 mm. Úhly vláken laminátu jsou znázorněny na Obr. 48. Osy laminátu jsou shodné se souřadnicovým systémem hřídele. Osa x laminátu je rovnoběžná s osou hřídele.



obr. 55: Schéma orientace vrstev laminátu

tab.1.23: Složení vrstev laminátu v maticové podobě

Skladba vrstev varianta A	Skladba vrstev varianta B	Skladba vrstev varianta C
90°	0°	45°
0°	45°	10°
90°	0°	45°
0°	45°	10°
90°	0°	45°
0°	45°	10°
90°	0°	45°

První varianta je orientovaná na tepelnou stálost a zejména je vhodná pro tenkostěnné dílce. Je toho docíleno velkým podílem vláken orientovaných ve směru délky a následným zpevněním vrstvou v úhlu 90°.

Čím je větší podíl vláken orientovaných ve směru největší délky součásti, nedochází k téměř žádným tepelným deformacím, jak je patrné na obrázku 25.

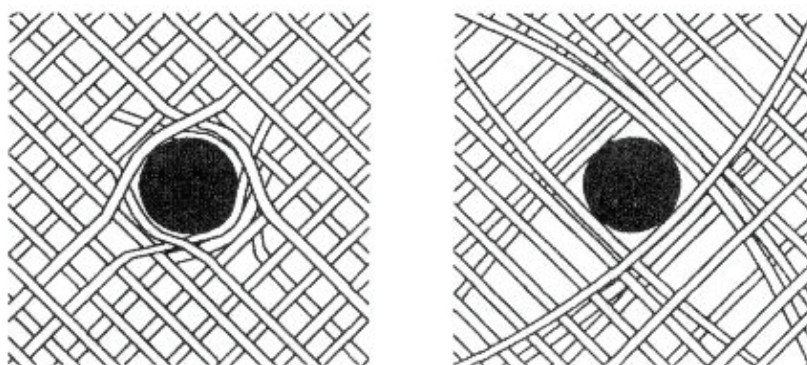
Ale při namáhání hřídele kolmo na směr vláken dochází k nejhoršímu případu zatěžování. Pevnost součásti je rovna pouze pevnosti matrice, jak je patrné na obrázku 26. Tudíž první varianta skladby struktury je nevhodná. Snahou konstruování dílců z vláknových kompozitů je položit vlákna pouze tahovým napětím v nichž mají největší únosnost.

Druhá varianta je orientována přesně na míru mému řešení. Skladbu hřídelů navrhuji jako kombinaci 0° a +/-45°. Je to optimální řešení na tepelnou a pevnostní odolnost.

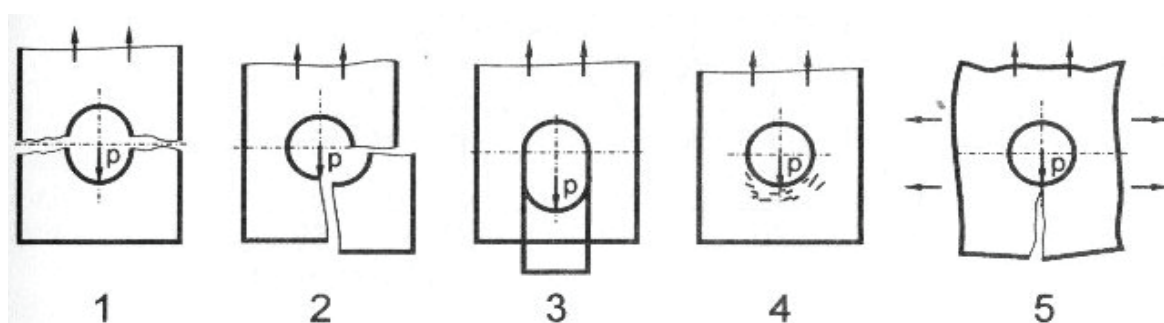
Třetí varianta řešení je orientována na technologii součástí. Směr vláken orientovaný na $45^\circ \pm 10^\circ$. Orientace $\pm 10^\circ$ souvisí často s technologickým omezením navinout přesně axiální směr a není proto nutná (pokud to nevyžadují speciální požadavky)..

Šroubové spoje:

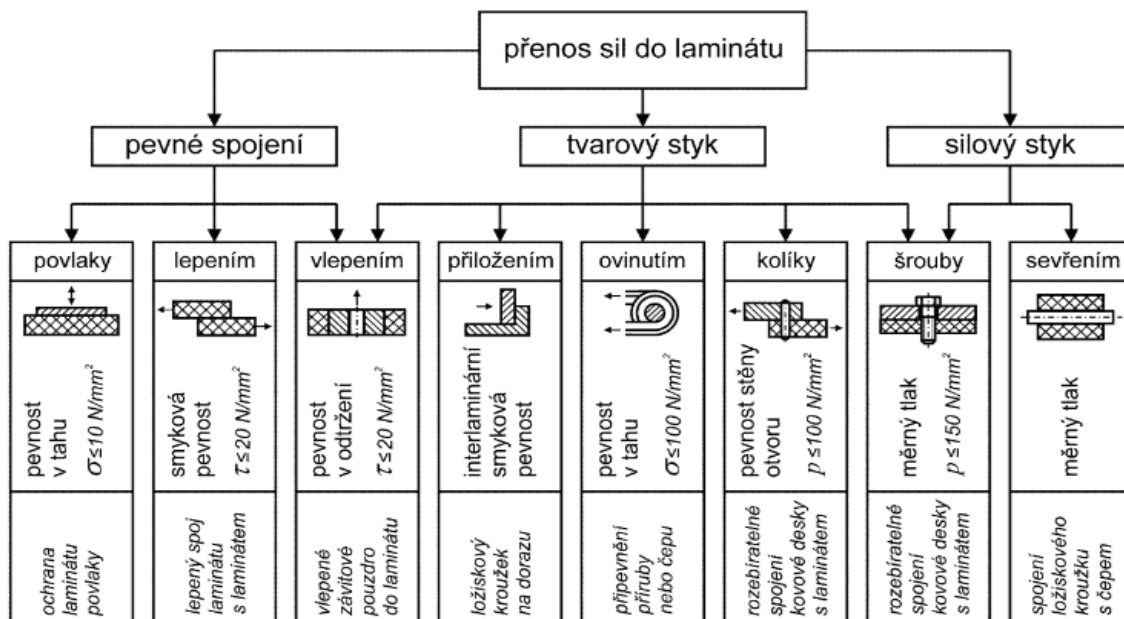
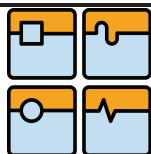
Další věcí při technologii spojování laminátu s ocelovými dílci je používání přípravků na preparaci šroubových spojů. Jedná se zjednodušeně řečeno o drát, který je do struktury vložen místo šroubu a je vlákny oplétán nebo ovíjen. Poslední věcí je možnost iniciace trhliny u šroubového spoje. Jak je patrné na obrázku 56., při použití šroubového spoje dochází k mnoha vadám. Musí tedy být brán zřetel na pečlivost při zhotovování spoje.



obr.56: Na levé oplétaný a na pravo ovíjený otvor [15]



obr.57: Formy lomu laminátu v otvoru pro spojení šrouby, nýty nebo čepy (1 – lom tahem ve zbytkovém průřezu, 2 – modifikovaný lom tahem, 3 – lom smykem, 4 – poškození vnitřního povrchu otvoru, 5 - lom ohybem) [15]



obr. 58: Metody pro přenos sil pro laminát [18]

tab. 1.24: Materiálové vlastnosti materiálu SE84LV-HSC [21]

Materiál	SE84LV-HSC
Modul pružnosti v tahu E_{11} [GPa]	131
Modul pružnosti v tahu $E_{22} = E_{33}$ [GPa]	6,67
Poissonovo číslo $\nu_{12} = \nu_{13}$ [-]	0,31
Poissonovo číslo ν_{23} [-]	0,016
Modul pružnosti ve smyku $G_{12} = G_{13}$ [GPa]	3,88
Modul pružnosti ve smyku G_{23} [GPa]	3,31
Pevnost v tahu R_1 [MPa]	1967
Pevnost v tlaku R'_1 [MPa]	1164
Pevnost v tahu R_2 [MPa]	75
Pevnost v tlaku R'_2 [MPa]	210
Pevnost ve smyku T [MPa]	60
Interlaminární pevnost ILSS [MPa]	68

Indexy značí orientaci v laminátu:

- 1 - směr vláken
- 2 - směr kolmý na vlákna v rovině laminátu
- 3 - směr kolmý na rovinu laminátu

Lepené spoje:

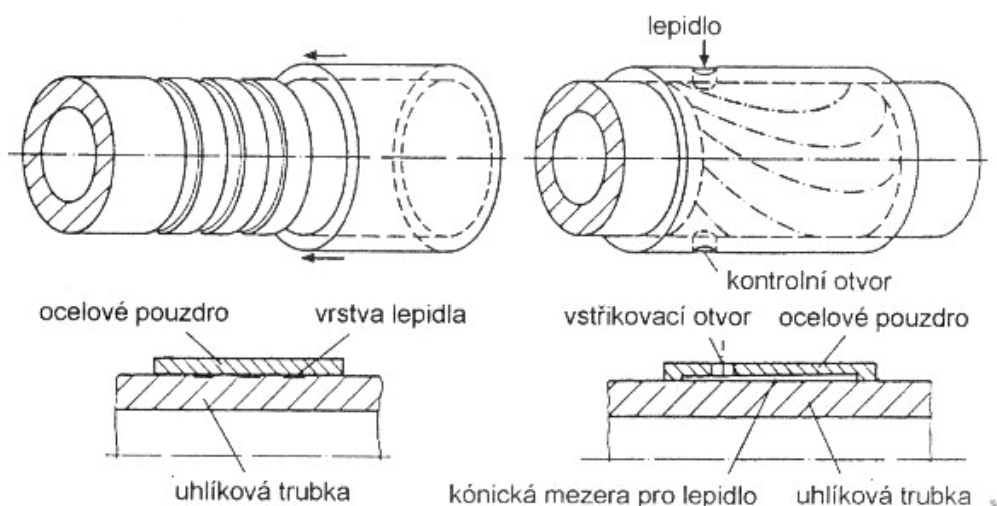
Lepené spoje jsou ideální způsob spojování laminátu. Průběh namáhání tohoto spoje je lineární a netvoří se špičky jak u nýtových nebo šroubových spojů. U spojů uhlíku s kovem tvoří izolační vrstvu, která zabraňuje vzniku elektrolytické koroze. Poměrnou nevýhodou je tepelná odolnost maximálně do 250°C. Při realizaci lepeného spoje je třeba zachovat fixovanou polohu. Zároveň je třeba sledovat spoj z důvodu odtrhnutí při různé teplotní roztažnosti.

Každý spoj na náhradě je realizovaný lepením dvousložkovým lepidlem. Úprava spoje před lepením:

- mechanické nebo chemické zdrsnění povrchu
- odmaštění (aceton)

- nanesení tenké vrstvy lepidla před samotným lepením
- použitá lepidla (Araldit, Vantico, Ciba) – optimální vrstva je kolem 0,1 – 0,25 mm

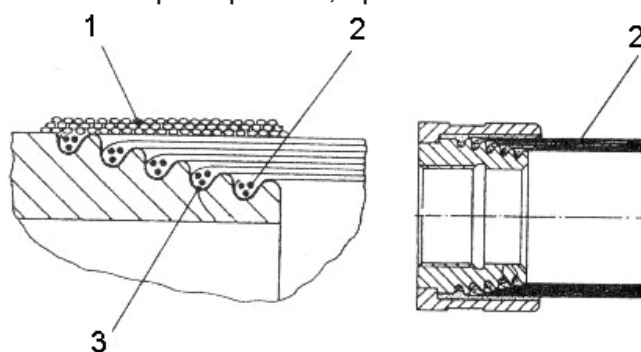
U nástrčných pouzder je nutné před vstříknutím lepidla otvory pro to určenými, vycentrovat polohu aby nedocházelo k obvodovému házení.



obr.59: Možnosti vlepění ocelového pouzdra na hřídel[18]

Ovíjené spoje:

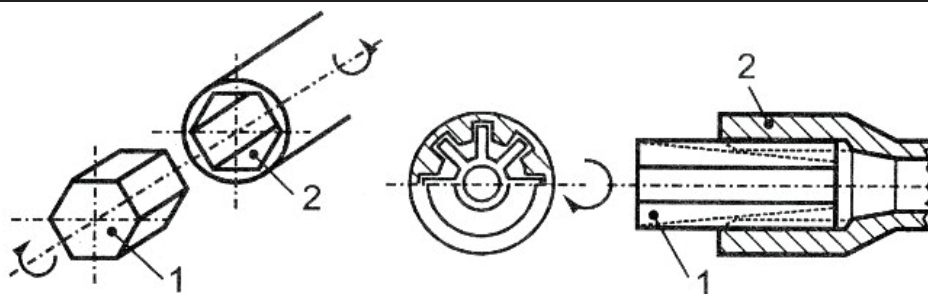
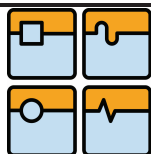
Tento druh řešení je spíše vhodnější pro tah či tlak. Ale nevylučuje se možnost užití tohoto řešení i pro aplikace, spíše méně namáhaných hřídelů.



obr.60: Konstrukční řešení přechodu kov uhlíkový laminát (1-obvodový návin uhlíkového rowingu, 2-podélný návin uhlíkového rowingu, 3-radiální drážky) [18]

Spoje mnohoúhelníkové

Tento druh spoje je zejména vhodný pro součásti namáhané krutem. Ke spojení lze užít několik různých tvarů spoje. Nejpoužívanější je zejména šestihranný profil. Výroba tohoto typu spoje ale velmi obtížná, nejen je třeba dbát na to, aby při výrobě vnitřního čtyřhranu nesjížděl rowing. Navíc je stěna na hraně trubky velmi tenká. Při vícehraném profilu tyto problémy odpadají, ale další problém je nasnadě, může totiž dojít k protočení hřídele v místě spoje. Dalšími tvary přicházejícími v úvahu jsou například ozubené profily.



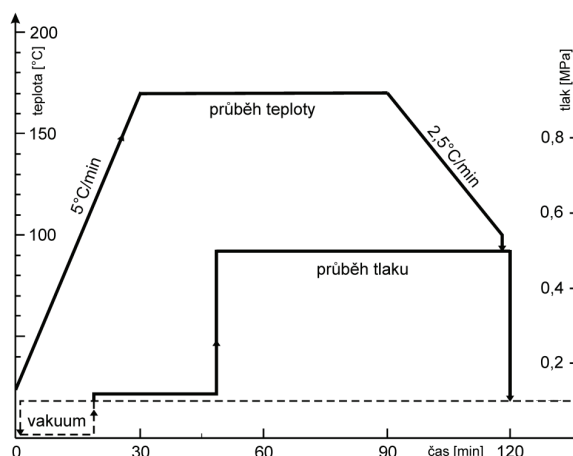
obr.61: Principy spojů mnohoúhelníkovým nebo ozubeným profilem (1-prvek pro přenos sil, 2-laminát) [18]

Technologie výroby:

Ruční kladení za mokra, kontaktní laminování:

Při použití rovinné tkaniny se pryskyřice nanáší pomocí stěrek a štětců, přebytečná pryskyřice se odstraňuje válečkem. Vyrobené díly se vytvrzují nejčastěji za studena, tj. při pokojové teplotě a dotvrzují za zvýšené teploty (80 °C).

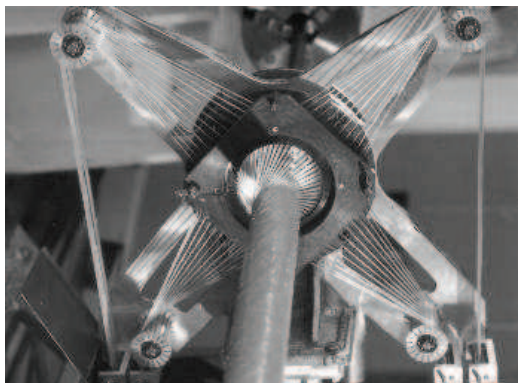
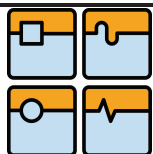
Při technologii kladení prepregů je již polotovár nasycen pryskyřicí, kromě samotných vrstev prepregů je na formu pokládána odtrhová vrstva, odsávací vrstva a vakuová folie. Výhodou této technologie je vysoký podíl vláken v laminátu, který se pohybuje do 70% objemového podílu laminátu. Dílce se poté vkládají do autoklávu, kde jsou při teplotě 120°- 200° vytvrzeny. Ruční laminace a ruční kladení prepregů je vhodné především pro kusovou výrobu nebo výrobu prototypů. Lze také jednoduše řídit tloušťku laminátu na jednotlivých stěnách.[22]



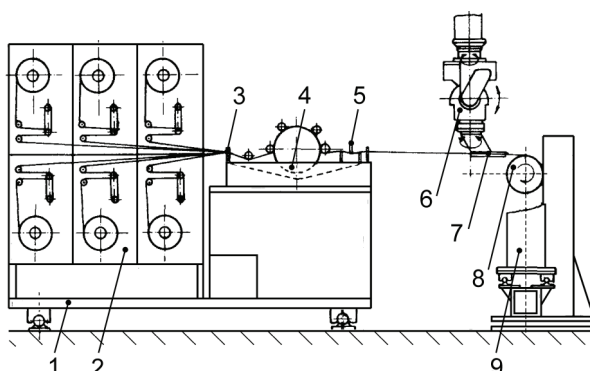
obr.62: Vytvrzovací cyklus autoklávu pro běžný uhlíkový prepreg [15]

Strojní navíjení („Pullwinding“):

Jedná se o Technologii ovíjení a pletení. Při navíjení je materiál odvíjen z cívek a je smáčen v iniciovaném materiálu. Je navíjen na trn pod požadovaným úhlem. Po navíjení následuje vytvrzování v peci v teplotách 80-120°C. Touto technologií se vyrábí tlakové nádoby, hřídele, duté profily, nejčastěji ve velkých sériích. Systém navíjení je na obrázcích 63 a 64.



obr.63: Horizontální ovíjení [18]



obr.64: Přesné navíjení – 1.vozík, 2.odvíjecí zařízení s cívkami rovingu, 3.vedení vlákna, 4.impregnační lázeň, 5.stírací hřeben, 6.hlava robotu, 7.navíjecí oko, 8.navíjecí trn, 9.osa navíjecího stroje [18]

Jak pro kusovou tak pro sériovou výrobu bude výhodnější technologie vláknového navíjení. Časová náročnost bude nižší u navíjení, navíjecí trn je nutný v obou případech, konzistence vlastností je srovnatelná, při vytvrzování navíjeného kompozitu odpadá autokláv a odpadají spoje uvnitř laminátu, které vznikají při kladení prepregu (snazší vyvažování, méně iniciátorů poruchy). Navíc při přechodu od kusové na sériovou výrobu není nutná změna technologie a s tím spojené komplikace.

10. Cenová bilance

Cena klasické ocelové hřídele:

Cena ocelové součástí je stanovena firmou TOSHULIN.

Cena součásti - hřídel Ø 45 – 501,5 (výkres - 1039/25401D01) - 9229,67 Kč

Cena součásti - hřídel Ø75 - 2396 (výkres - 1050/42013B08) - 14095,72 Kč

Cena součásti - spojka Ø 75 – 162 (výkres - 1050/42017D01) - 3853,08 Kč

Cena nahrazované části **23325,39 Kč**

Celková cena - sestava (výkres - 1050/42008) - 45781,79 Kč

Cena navrhované hřídele:

Cena (bez DPH, dodání EXW CompoTech Sušice, včetně obrábění):

kompozitová část dílu dle výkresu 1039/25401D01 (D45-501,5) ... 168,- EUR

kompozitová část dílu dle výkresu 1050/42013B08 (D75-2396) ... 2135,- EUR

Cena nahrazované části

2303,- EUR

Cena v kurzu ke dni 18.5.2011

56423,5 Kč

11. Doba dodávky

Doba dodávky klasické ocelové hřídele:

Vyrobení a příprava materiálu zabere firmě TOSHULIN:

20 hodin přípravy materiálu

40 hodin výrobního času

Doba výroby navrhované hřídele:

U zcela nového výrobku je dodávka cca 12 týdnů, což zahrnuje konstrukci, přípravky a samotnou výrobu, u zavedených výrobků většinou 4 až 6 týdnů. Tyto hodnoty jsou spíše maximální a pokud má firma konstrukční a výrobní kapacity, jsou schopni tento čas ještě zkrátit. Vždy podle aktuální situace a složitosti výrobku.

12. Závěr:

Kompozitní materiály mají jistě v konstrukci obráběcích strojů své místo. Každý z těchto materiálů je vhodný na jinou aplikaci. Nesetkal jsem se s materiálem, jehož vlastnosti by byli univerzálně použitelné pro kteroukoliv část stroje. V tomto má jistě ocel nebo litina jistou přednost. Ale na druhou stranu - určité materiály vykazují lepší vlastnosti pro určité řešení. Mluvím zde o jejich vhodnosti. Jde především o jedinečné vlastnosti, které ten daný materiál má, ať už jde o teplotní vodivost, lepší tlumící vlastnosti nebo jiné. Jejich častější používání je jistě jen otázkou času. Zatím se používají pouze v případech, kde je jejich použití nutné z nedostatku prostoru a zejména pro jejich lepší mechanické vlastnosti. Pokaždé musí jejich užití vykazovat lepší cenu nebo lepší vlastnost než konvenční řešení.

Jde jistě také o návrh komponent z těchto materiálů. Z důvodu návrhu součástí z těchto materiálů sebou nese jisté konstrukční zásady a omezení. A jelikož zatím nejde o materiály zrovna levné, tak chyba při konstrukci se může nepříjemně prodražit.

Praktickým řešením v mé práci bylo nahrazení hřídele náhonu nástrojů pro svislé soustruhy typu SKA firmy TOSHULIN. Provedl jsem porovnání hmotnosti a délkové roztažnosti hřídele, kde uhlíková hřídel vykazovala lepší vlastnosti jak v roztažnosti, tak ve hmotnosti. Z menší hmotnosti plynou menší dynamické namáhání. Dále jsem pokračoval v návrhu uhlíkové hřídele.

Prvním krokem byla volba orientace vláken kompozitu. Je to jeden z důležitých kroků při návrhu součásti z vláknového kompozitu. Pro moje řešení je ideální druhá varianta úhel 0°/45°. Parametry uhlíkového laminátu by se dali shrnout do následujících vlastností:

- tloušťka vrstvy
- úhel vrstvy
- pevnost vrstvy
- celková tloušťka laminátu

Jelikož se při konstrukci nevyhneme přechodům ocel/kompozit, musíme zvolit vhodný druh spojení. Jako nejlepší se jevil lepený spoj kombinovaný se spojením šroubovým.

Samotný konstrukční návrh náhrady. Mojí snahou bylo zachovat rozměry a rozložení podpor, jak je u původního návrhu. Z důvodu prvotního řešení nechci měnit celkovou koncepci tohoto řešení. Dojde pouze ke změně dvou hřídelů. Nicméně by mělo dojít ke zlepšení tuhosti, tlumení a odsunutí rezonančních frekvencí do vyšších pozic než u dosavadního řešení.

Cena kompozitové části převyšuje cenu ocelové hřídele dvojnásobně. Ale je zde možnost mnoha úprav. Cena kompozitového dílce se odvíjí od hmotnosti. Konzultací s firmou CompoTech, PLUS, spol. s r.o. bylo navrženo, že by bylo možné docílit úpravami v konstrukci značné úspory:

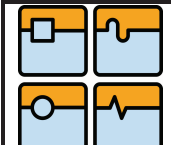
- z hlediska úspory hmotnosti a ceny při zachování vlastností bych navrhoval zvětšit vnitřní průměry a tím zmenšit tloušťku stěny. Materiál na malém průměru není příliš využit a k vlastnostem hřídele poměrně málo přispívá.
- další možnost uspořit při konstrukci uhlíkových hřídelů je v levnějším materiálu.
- neposlední věcí je podrobit součásti pevnostní a modální analýze. Dle následujících výsledků by bylo možné upravit řešení do finální verze. Je možné, že by došlo ke zmenšení zástavného prostoru, průměru hřídele a také v rozmístění podpor hřídele.

Proč užívat kompozitovou hřídel? U většiny aplikací vychází kompozit skutečně draže než ocel nebo dural, pokud uvažujeme pouze cenu samotného dílu. Jednou z výjimek jsou velké tenkostěnné hřídele, kdy obrábění (vrtání, vyvrtávání, soustružení na trnu atd.) a případná mezioperační žíhání prodraží výrobu kovového dílu natolik, že kompozit vychází levněji. Několik takových aplikací jsem viděl nejen u hnacích hřídelí.

Hlavní přínos kompozitu je ale sekundární, tj. u dlouhých hřídelí jsou u oceli např. nutná ložiska na krajích a uprostřed - u kompozitu jen na krajích; vyšší vlastní frekvence kompozitu dovolují obrábět vyššími otáčkami; aplikace s častými rozběhy a doběhy hřídele profitují z malé setrvačnosti kompozitního hřídele - slabší pohon; torzní tuhost lze významně ladit při zachování rozměrů - ladění servopohonů; menší hmotnost hřídele obecně atd. Všechny tyto výhody lze využít vždy jen u některých aplikací, proto je vhodnost použití kompozitu nutno posuzovat případ od případu.

13. Použitá literatura:

- [1] TOSHULIN, a.s. – o společnosti [online]. 2008 [cit. 2011-1-23]. Dostupný z WWW: <http://www.toshulin.cz/firma.asp?=cz>
- [2] Pokluda J., Kroupa F., Obdržálek L.: Mechanické vlastnosti a struktura pevných látek. PC Dir, Brno 1994.
- [3] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. FAKULTA STROJNÍ. Nadmolekulární struktura polymerů [online]. [cit. 2011-1-23] Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/kpt/obsah/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/11-struktura.jpg
- [4] Mišek, B. Kompozity. 1. vyd. BRNO: Technický dozorčí spolek Brno – Sekce materiálů a svařování, 2003. 81 s. ISBN 80-903386-0-7
- [5] KOŘÍNEK, Z. Vlákna [online]. [cit. 2011-1-23]. Dostupný z WWW: <http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
- [6] PREFA Kompozit [online]. 2003 [cit. 2011-01-23]. Technologie výroby tažených profilů PREFEN. Dostupné z WWW: <http://www.prefa-kompozity.cz/technologie/informace-o-technologii/>.
- [7] Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky : 7. Základy lineární teorie kmitání s jedním stupněm volnosti [online]. 2005 [cit. 2011-01-26]. Mechanika těles- Dynamika. Dostupné z WWW: http://www.umt.fme.vutbr.cz/~pkrejci/opory/dynamika/kapitola_7.html.
- [8] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha : MM Průmyslové spektrum, 2006. 282 s. ISSN 1212-2572.
- [9] SMOLÍK, Jan. Nosné díly obráběcích strojů z nekonvenčních materiálů. Praha, 2007. 35 s. Disertační práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a mechanismů.
- [10] KAREL, Viktor. Studie "inteligentní" kapotáže oddělující komplexně stroj od okolí monitorující interakce. Praha, 2010. 60 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení.
- [11] SMOLÍK, Jan. Kompozity ve stavbě strojů [online]. Praha, 2007. 314 s. Seminář. Společnost pro obráběcí stroje a CVUT v Praze, fakulta strojní, Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii.
- [12] MÁTHIS, Kristián. Kompozity [online]. Praha : Karlova Univerzita, 2007. 31 s. Referát. Karlova univerzita, Katedra fyziky materiálů. Dostupné z WWW: <http://material.karlov.mff.cuni.cz/people/mathis/studenti/>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

[13] Borský, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 2. Vyd. Brno: Nakladatelství Vysoké učení technické v Brně, 1991, 214 s. ISBN 80-214-0361-6

[14] Buksa, J. Polymerbetonový rám svislého soustruhu. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bronislav Foller.Ph.D.

[15] MRÁZ, P.; TALÁCKO, J. Konstrukce strojů s kompozitními materiály. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2006. 226 s.

[16] Bögel Reitz GmbH [online]. c 2010. Dostupné z WWW: <http://www.max-boegl.de/boeglnet/web/show.jsp?nodeId=1000486&lang=en>

[17] SMOLÍK, Jan. Nosné díly obráběcích strojů z nekonvenčních materiálů [online]. Praha : ČVUT, 2007. 35 s. Oborová práce. České vysoké učení technické. Dostupné z WWW: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/PGS_stud/PGS-Teze_-_Smolik.pdf.

[18] MRÁZ, Petr. Využití vláknových kompozitů při vývoji nových struktur výrobních strojů a robotů. In *Kompozity ve stavbě strojů* [online]. Praha : České vysoké učení technické, 9.10.2007 [cit. 2011-03-09]. Dostupné z WWW: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Applikace_Kompozitu_150.pdf.

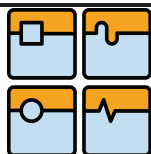
[19] ČKD Blansko [online]. 2000 [cit. 2011-03-23]. Výrobní podnik . Dostupné z WWW: <http://www.ckd-blansko.cz/vyrobni-program/>.

[20] Konstrukční řešení keramického hřídele z karbidu křemíku (SiSiC). In *Vizi konkurenceschopného strojírenství naplňují špičkové keramické materiály na bázi SiC!* [online]. Plzeň : PEMAVAKO s.r.o., 2008-2011 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <http://pemavako.cz/keramika/vizi-konkurenceschopneho-strojirenstvi-naplnuji-spickove-keramicke-materialy-na-bazi-sic>.

[21] COMPOSITE MATERIAL FATIGUE DATABASE [online]. Montana : Montana state university, 31.3.2010 [cit. 2011-04-17]. Material characteristic, s. . Dostupné z WWW: <http://www.coe.montana.edu/composites/documents>.

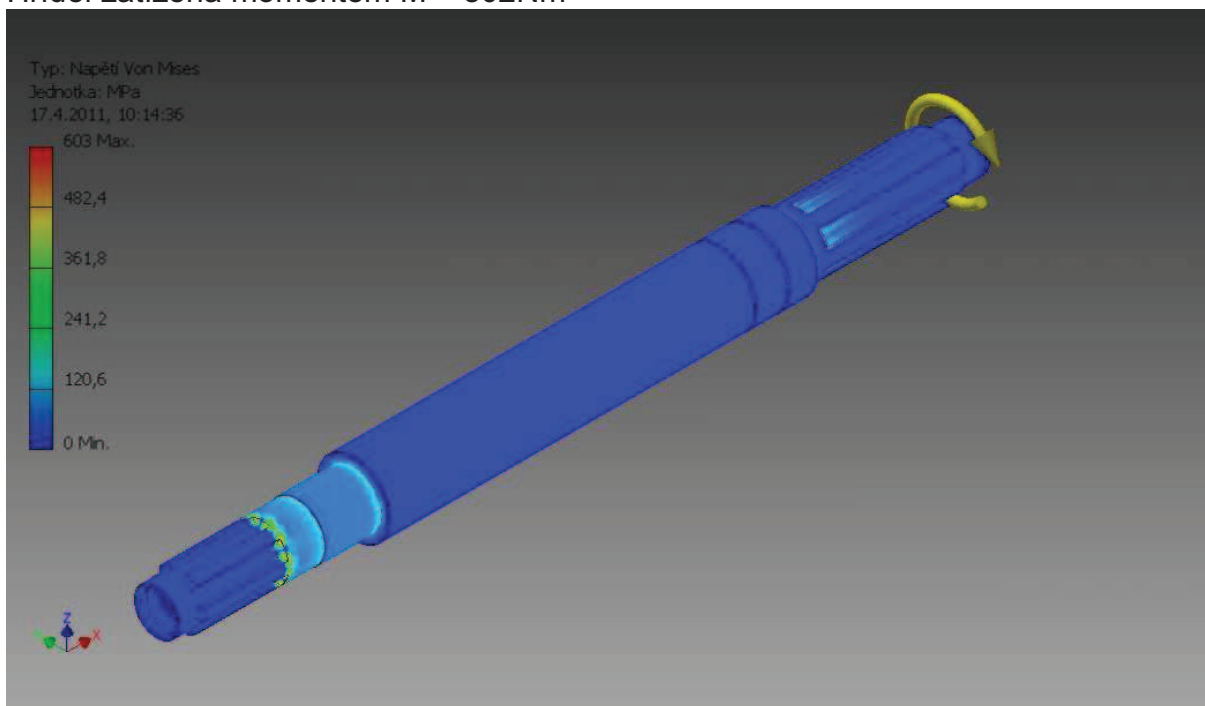
[22] Kompozity. In KOŘÍNEK, CSC., Doc. Ing. Zdeněk . 5. technologie [online]. ČVUT Praha : České vysoké učení technické, 2011 [cit. 2011-04-21]. Dostupné z WWW: <http://www.volny.cz/zkorinek/technologie.pdf>.

[23] Svislé soustružnická centra SKA : NÁHON ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ U STROJŮ ŘADY SKA. Hulín: TOSHULIN, 2011. 23 s.

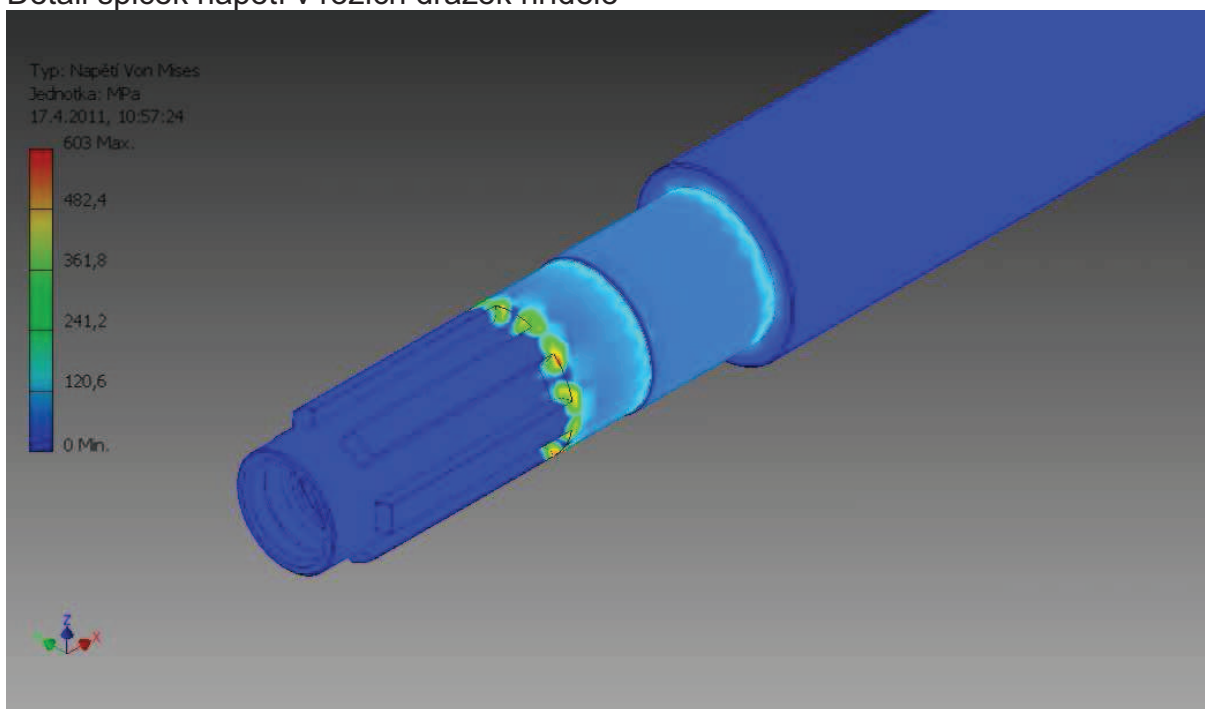


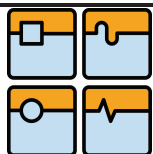
14. Přílohy:

Hřídel zatížená momentem $M = 802 \text{ Nm}$

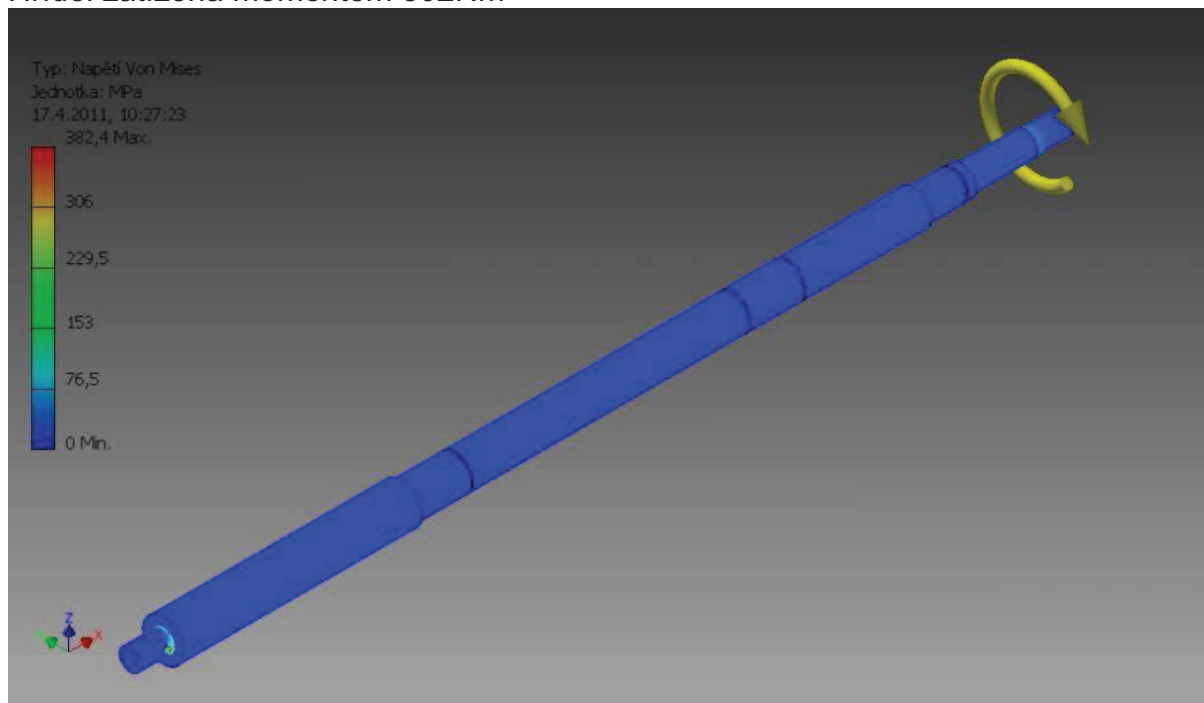


Detail špiček napětí v rozích drážek hřídele

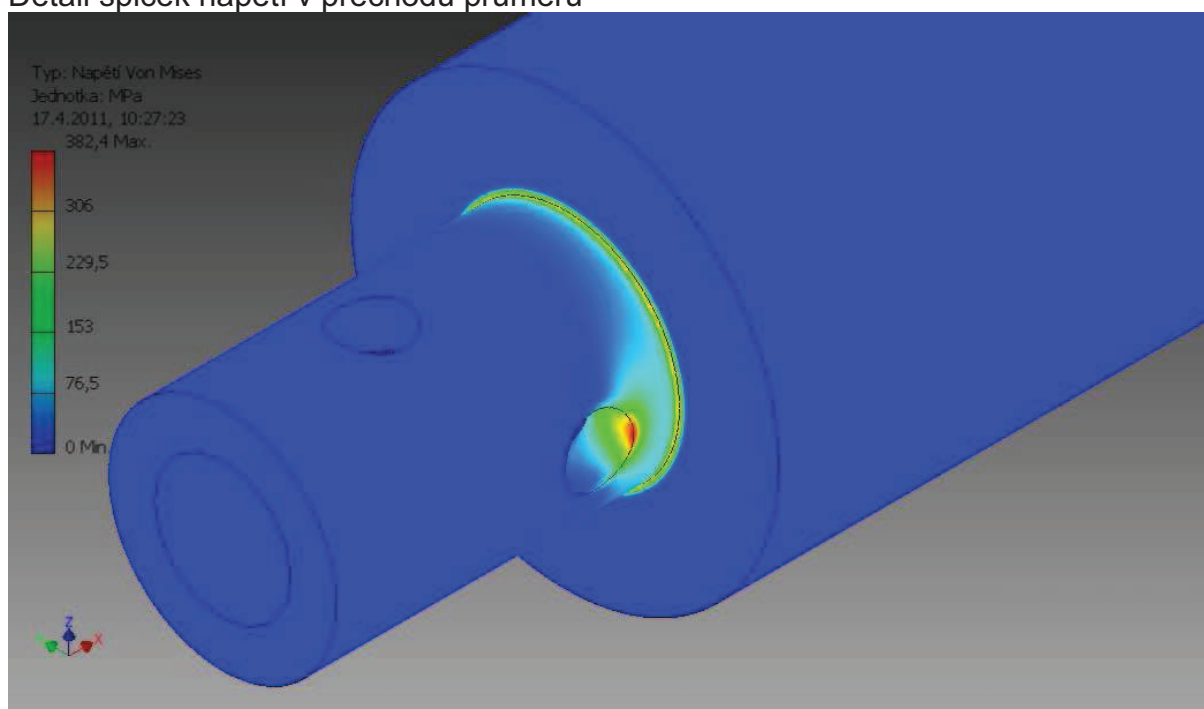


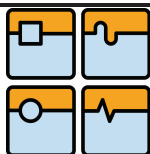


Hřídel zatížená momentem 802Nm

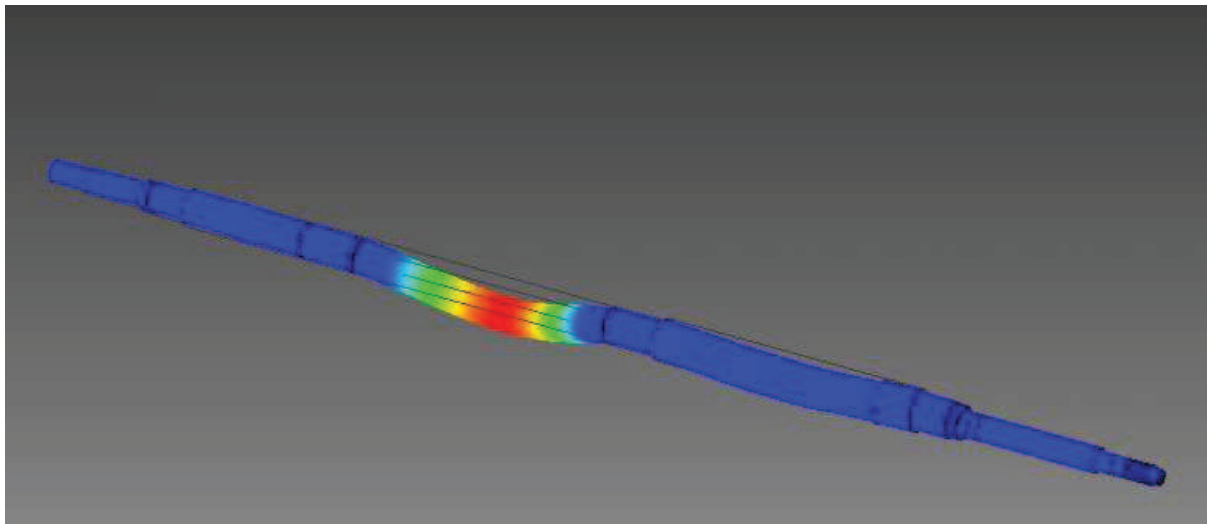


Detail špiček napětí v přechodu průměrů

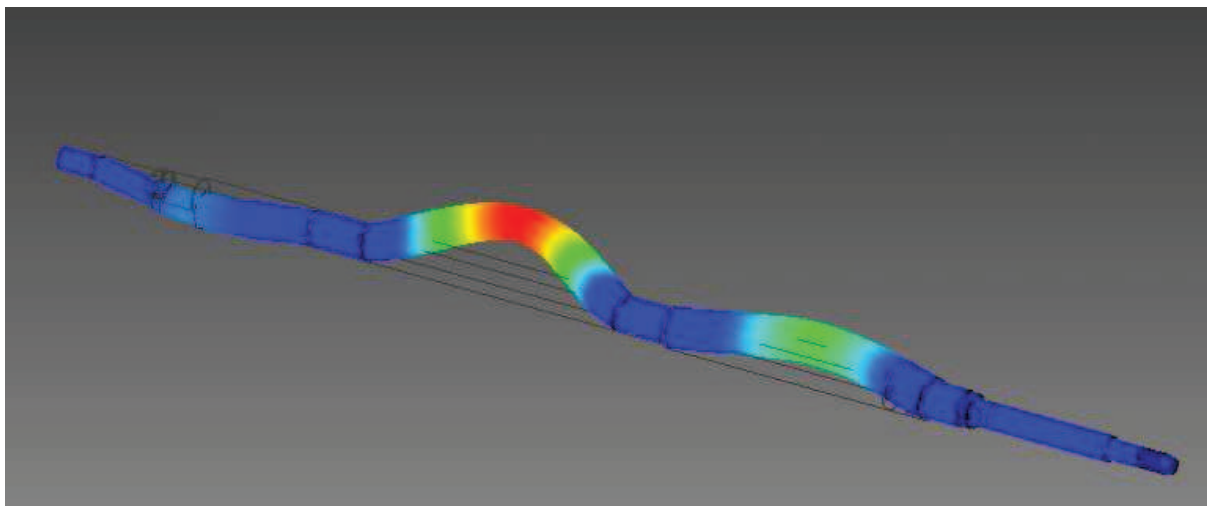




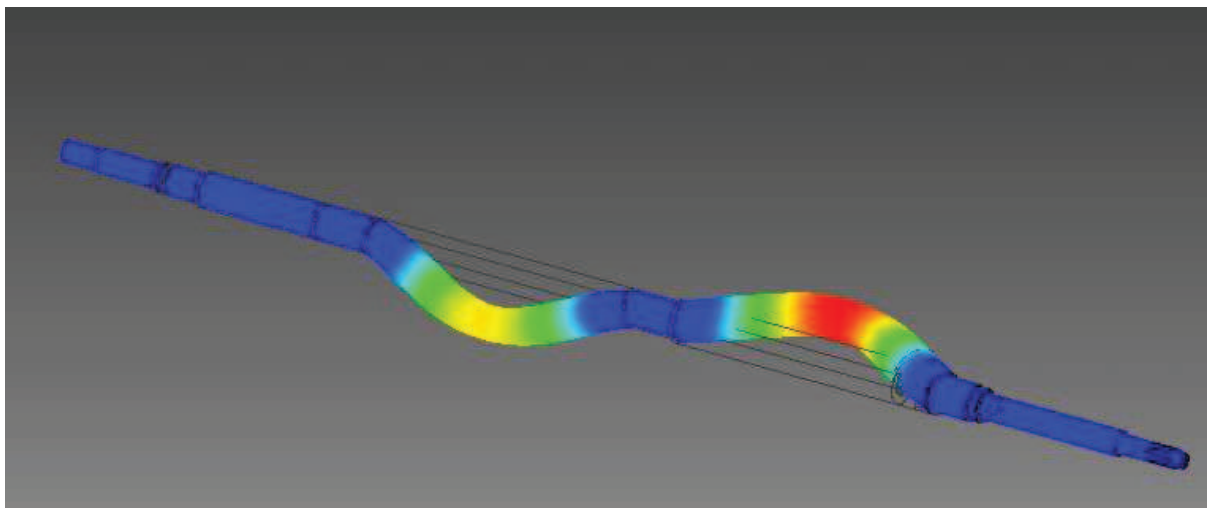
Tvary kmitů ocelové hřídele:



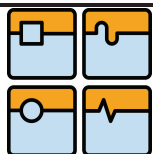
1. tvar kmitu



2. tvar kmitu



3. tvar kmitu

**Zkroucení hřídele:**

tab.1.25: Deformace hřídele vlivem momentu

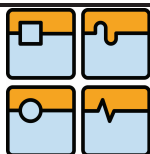
pořadí	D[mm]	d[mm]	L[mm]	Jp[mm ⁴]	φ[°]	G*Jp
1	28	16	43	53882,4	0,000486	4310592000
2	28	8	38,5	59911,2	0,000391	4792896000
3	35	20	35	131548,8	0,000162	10523906250
4	42,5	20	4	304436,6	0,000008	24354931641
5	45	20	261,5	386673,8	0,000412	30933906250
6	32	20	86	87191,5	0,000601	6975321600
8	40	20	34	235500,0	0,000088	18840000000
9	75	20	432	3089036,3	0,000085	2,47123E+11
10	65	20	91,85	1735892,6	0,000032	1,38871E+11
11	62	20	2,65	1434228,0	0,000001	1,14738E+11
12	64,5	20	503	1682616,1	0,000182	1,34609E+11
13	65	20	94,35	1735892,6	0,000033	1,38871E+11
14	62	20	2,65	1434228,0	0,000001	1,14738E+11
15	64,5	20	613	1682616,1	0,000222	1,34609E+11
16	65	20	94,35	1735892,6	0,000033	1,38871E+11
17	62	20	2,65	1434228,0	0,000001	1,14738E+11
18	64,5	20	228,5	1682616,1	0,000083	1,34609E+11
19	55	20	67	882205,1	0,000046	70576406250
20	52,5	20	22	729747,2	0,000018	58379775391
21	45	20	115	386673,8	0,000181	30933906250
22	40	20	69	235500,0	0,000178	18840000000

Deformace první hřídele:

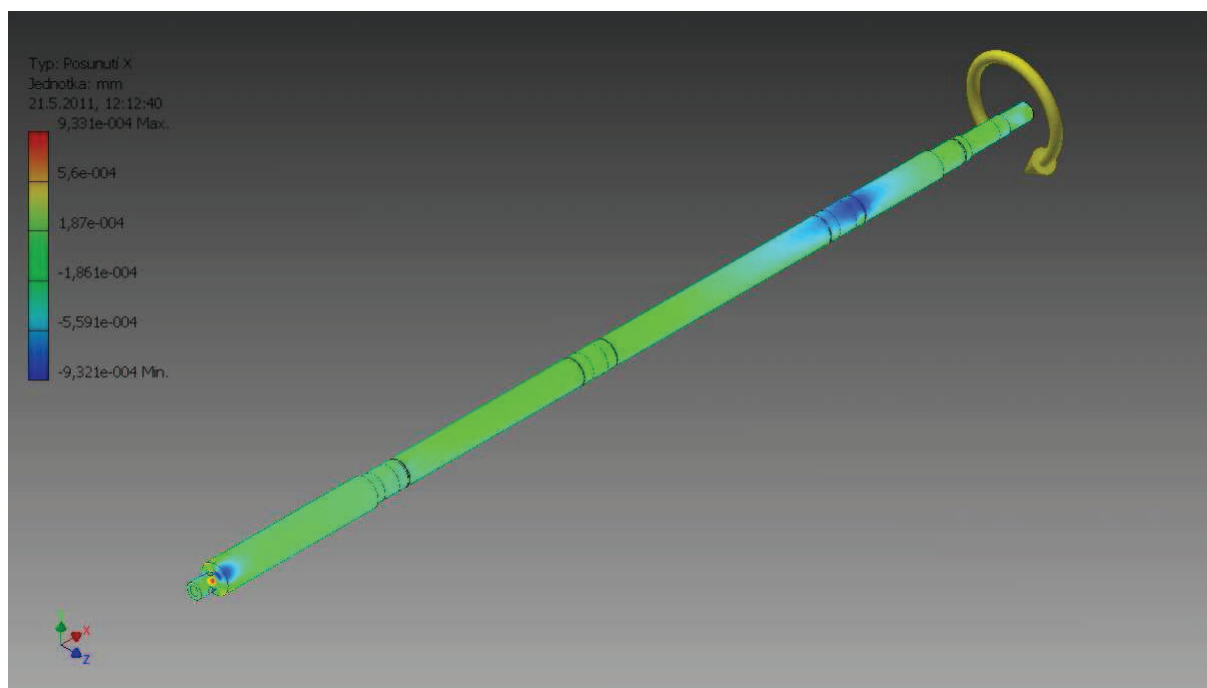
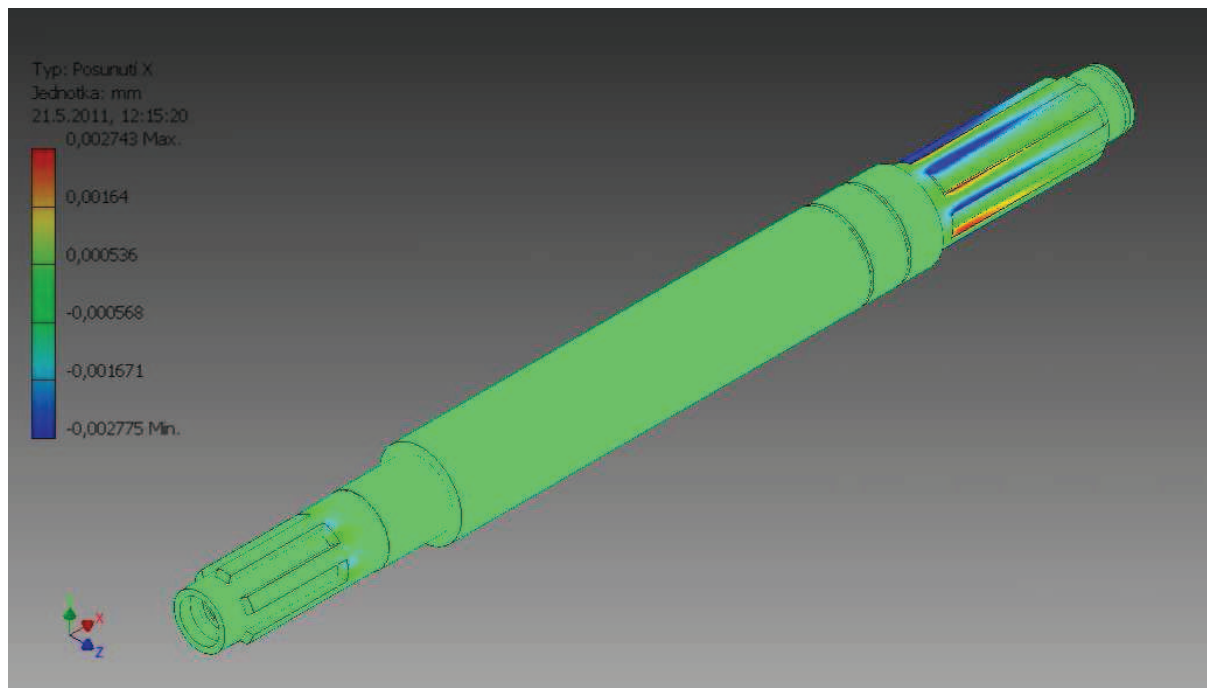
$$\Delta_1 = \frac{\pi}{180} \sum_{i=1}^6 \varphi_i = 3,5959 \text{ rad}$$

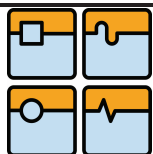
Deformace druhé hřídele:

$$\Delta_2 = \frac{\pi}{180} \sum_{i=8}^{22} \varphi_i = 2,0686 \text{ rad}$$



Deformace hřídelů ve směru osy x:



**Použité značky:**

- λ - součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 S - plocha S [m^2]
 ΔT - rozdíl teplot [K]
 d - vzdálenost tepelného zdroje [m]
 τ - čas působení [s]
 Q - tepelná energie [J]
 M_k - kroutící moment [Nm]
 τ_k - napětí v krutu [MPa]
 W_k - průřezový modul v krutu [mm^3]
 D, d, L, l - charakteristický rozměr [mm]
 φ - natočení [$^\circ$]
 G - modul pružnosti ve smyku [MPa]
 J_p - polární moment setrvačnosti [mm^4]
 $G \cdot J_p$ - tuhost průřezu [$\text{N} \cdot \text{mm}^2$]
 m - hmotnost [kg]
 t - teplota [$^\circ\text{C}$]
 γ - součinitel teplotní roztažnosti [$^\circ\text{C}^{-1}$]
 Δ - deformace [rad]

Výkresy:Výkresy poskytnuté firmou TOSHULIN:

- hřídel $\varnothing 45 - 501,5$ (výkres - 1039/25401D01)
hřídel $\varnothing 75 - 2396$ (výkres - 1050/42013B08)
spojka $\varnothing 75 - 162$ (výkres - 1050/42017D01)
sestava (výkres - 1050/42008)

Hřídel z kompozitního materiálu:

- | | | |
|----------|--------------------|---------------|
| výkres 1 | HŘÍDEL DÍL 1 | (1-uvs-01-00) |
| výkres 2 | HŘÍDEL DÍL 2 | (1-uvs-03-00) |
| výkres 3 | SESTAVA | (1-uvs-00-00) |
| výkres 4 | ČELO 1 | (1-uvs-01-01) |
| výkres 5 | KOMPOZITOVÁ HŘÍDEL | (1-uvs-01-02) |
| výkres 6 | ČELO 2 | (1-uvs-01-03) |

Použité programy:

Autodesk Inventor 2011
Microsoft Office 2003